

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Návrh uzávěru zásobníku sypkých hmot s možností
plynulé změny výpustného otvoru**

**Design of Silo Closure with Possibilities of Continuous
Change of Its Dimensions**

Student:

Bc. Dalibor Hanáček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Robert Brázda, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Dalibor Hanáček**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma: **Návrh uzávěru zásobníku sypkých hmot s možností plynulé změny
výpustného otvoru**
**Design of Silo Closure with Possibilities of Continuous Change of Its
Dimensions**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte vstupní rešerši ohledně uzávěrů s plynulou regulací výpustného otvoru.
2. Zpracujte varianty řešení a proveďte volbu optimální varianty dle vhodných kritérií.
3. Proveďte potřebné technologické a pevnostní výpočty zvolené varianty konstrukčního řešení.
4. Pohon volte s ohledem na požadavek plynulé regulace rychlosti uzávěru.
5. Nakreslete sestavu zvolené varianty s důrazem na pohon, ovládání uzávěru a zajištění těsnosti.
6. Vstupní parametry:
 - a) skladovaný materiál - mouka
 - b) skladovací objem zásobníku $V = 100\text{l}$.

Ostatní varianty pro výpočet změřte v Laboratoři sypkých hmot (LSH) či vhodně volte.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] POLÁK, J. BAILOTTI, K. PAVLIŠKA, J. HRABOVSKÝ, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0493-X.
- [4] PETRUŽELKA, J. Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Robert Brázda, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě...23.5.2011.....




podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě: 23. 5. 2011



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Dalibor Hanáček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Přáslavice 243, Olomouc, 783 54

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HANÁČEK, D. Návrh uzávěru zásobníku sypkých hmot s možností plynulé změny výpustného otvoru, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 97 s. Vedoucí práce: Ing. Brázda, R., Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem uzávěru zásobníku sypkých hmot s možností plynulé změny výpustného otvoru. V zásobníku o objemu 100 [l] bude uskladněn materiál v podobě mouky.

V úvodní části je zpracována rešerše na téma skladovací zařízení sypkých hmot, mechanismy toků, mechanika sypkých hmot a uzávěry výpustných otvorů. V následující části je konstrukčně řešen uzávěr, resp. zvolená varianta řešení a to v podobě technologických a pevnostních výpočtů. V závěru diplomové práce jsou obsaženy výrobní výkresy elementu uzávěru, hnacího hřídele, řemenice, vodícího kroužku řemenice, krytu elementů, těsnícího kroužku uzávěru, napínací stanice a sestavný výkres uzávěru zásobníku.

ANNOTATION OF THESIS

HANÁČEK, D. Design of Silo Closure with Possibilities of Continuous Change of Its Dimensions, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institut of Transport, 2011, 97 p. Thesis head: Ing. Brázda, R., Ph.D.

This thesis describes the Design of Silo Closure with Possibilities of Continuous Change of Its Dimensions. The tank volume of 100 [l] will be stored material in the form of flour.

In the introductory part deals with research on a topic of bulk fuel storage facilities, mechanisms for flow mechanics of bulk solids outlet openings and closures. The following section is tailored cap, respectively. Selected variant of the solution in the form of technological and strength calculations. In conclusion, the production drawings are included closure element, drive shaft, pulley, guide pulley ring, the housing element, a sealing ring closure, tension and stop the plan of the reservoir cap.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Vyletělkoví za pomoc při měření mechanicko – fyzikálních vlastností mouky v Laboratoři sypkých hmot (LSH). Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Robertu Brázdovi, Ph.D. za přímé vedení při vypracování této diplomové práce a za cenné připomínky a rady.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	10
0 ÚVOD	19
1 SKLADOVACÍ ZAŘÍZENÍ SYPKÝCH HMOT	20
1.1 ZÁSOBNÍKY	20
1.2 STANOVENÍ ROZMĚRŮ ZÁSOBNÍKU A VÝPUSTNÉHO OTVORU.....	21
2 MECHANISMY TOKU V ZÁSOBNÍCÍCH A SILECH	
– TOKOVÉ PROFILY	25
2.1 HMOTOVÝ TOK	25
2.2 JÁDROVÝ TOK	26
2.3 PROBLEMATIKA TOKU SYPKÝCH MATERIÁLŮ.....	27
2.3.1 Klenba	28
2.3.2 Netekoucí materiál po stěnách případně vznik středního tunelu	29
2.3.3 Nepravidelný tok	29
2.3.4 Delší doba skladování – rozdělení materiálu	30
2.3.5 Segregace	30
3 MECHANIKA SYPKÝCH HMOT – SKLADOVÁNÍ SYPKÝCH HMOT	
V ZÁSOBNÍCÍCH A SILECH	32
3.1 MOŽNÉ PROBLÉMY V TECHNOLOGII SYPKÝCH HMOT	32
3.2 DEFINICE JEDNOTLIVÝCH VELIČIN	34
4 UZÁVĚRY VÝPUSTNÝCH OTVORŮ ZÁSOBNÍKŮ	35
5 MĚŘENÍ MECHANICKO – FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MOUKY	38
5.1 ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ	38
5.1.1 Definice a princip měření	38
5.2 ÚHEL VNĚJŠÍHO TŘENÍ	40
5.2.1 Definice a princip měření	40
5.3 SYPNÁ HMOTNOST	41
6 STANOVENÍ TYPU A ROZMĚRŮ ZÁSOBNÍKU	42

7	VÝPOČET TLAKŮ, PŮSOBÍCÍCH V KOMOŘE A VÝSYPCE ZÁSOBNÍKU	46
7.1	TLAKY V KOMOŘE ZÁSOBNÍKU	46
7.2	TLAKY V KUŽELOVÉ VÝSYPCE	48
8	VÝPOČET TLAKŮ PŮSOBÍCÍCH V MÍSTĚ VÝPUSTNÉHO OTVORU DLE DVOU TEORIÍ	49
8.1	VÝPOČET TLAKŮ DLE JANSSENA	50
8.2	VÝPOČET TLAKŮ DLE RANKINA	51
9	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY ŘEŠENÍ UZÁVĚRU VÝPUSTNÉHO OTVORU	52
9.1	NÁVRH ELEMENTŮ	54
9.2	UTĚSNĚNÍ ELEMENTŮ UZÁVĚRU	57
9.3	VÝPOČTY PLOCH ELEMENTŮ ZAUJÍMAJÍCÍ VÝPUSTNÝ OTVOR PŘI JEDNOTLIVÝCH PROCENTUÁLNÍCH STAVECH OTEVŘENÍ VÝPUSTNÉHO OTVORU	60
10	VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY	67
10.1	VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY DLE JANSSENA	67
10.2	VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY DLE RANKINA	69
11	NÁVRH POHONU	72
11.1	MOŽNÉ TYPY POHONŮ	72
11.2	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY POHONU	72
11.3	VOLBA A VÝPOČET PARAMETRŮ ZVOLENÉ VARIANTY	73
12	VOLBA POHÁNĚCÍ STANICE	80
12.1	VOLBA ELEKTROMOTORU	82
12.2	VOLBA HNACÍHO HŘÍDELE	83
12.3	VOLBA LOŽISKA	83
12.4	KONTROLA ELEKTROMOTORU NA ROZBĚH	84
13	NAPÍNACÍ STANICE	86

14	KONTROLA PERA NA OTLAČENÍ	87
14.1	PERO – HRÍDEL	87
14.2	PERO – NÁBOJ	89
15	PEVNOSTNÍ KONTROLA ŠROUBŮ	91
16	ZÁVĚR	93
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	95
	SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	97

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A_s	plocha šroubu	$[\text{mm}^2]$
D	navržený průměr komory zásobníku	$[\text{m}]$
D'	průměr hřídele	$[\text{mm}]$
D_a	průměr hlavové kružnice velké řemenice	$[\text{mm}]$
D_p	vypočtený roztečný průměr velké řemenice	$[\text{mm}]$
D'_p	navržený roztečný průměr velké řemenice	$[\text{mm}]$
F	osová síla šroubů	$[\text{N}]$
$F_{1 J(100\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 100 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{2 J(90\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 90 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{3 J(80\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 80 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{4 J(70\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 70 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{5 J(60\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 60 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{6 J(50\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 50 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{7 J(40\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 40 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{8 J(30\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 30 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{9 J(20\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 20 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{10 J(10\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při 10 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{11 J(0\%)}$	síla dle Janssena působící na plochu 1 elementu při zcela uzavřeném výp. otvoru	$[\text{N}]$
$F_{1 R(100\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 100 % otevření výp. otvoru	$[\text{N}]$

$F_{2R(90\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 90 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{3R(80\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 80 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{4R(70\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 70 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{5R(60\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 60 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{6R(50\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 50 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{7R(40\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 40 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{8R(30\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 30 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{9R(20\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 20 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{10R(10\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při 10 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{11R(0\%)}$	síla dle Rankina působící na plochu 1 elementu při zcela uzavřeném výp. otvoru	[N]
$F_{J100\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 100 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J90\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 90% otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J80\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 80 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J70\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 70 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J60\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 60 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J50\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 50 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J40\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 40 % otevření výp. otvoru	[N]

$F_{J30\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 30 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J20\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 20 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J10\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při 10 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{J0\%}$	síla dle Janssena působící na plochy elementů při zcela uzavřeném výp. otvoru	[N]
F_K	zatěžující síla	[N]
$F_{Nel.0}$	síla působící na element 0	[N]
$F_{Nel.1}$	síla působící na element 1	[N]
$F_{Nel.2}$	síla působící na element 2	[N]
$F_{R100\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 100 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R90\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 90% otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R80\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 80 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R70\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 70 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R60\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 60 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R50\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 50 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R40\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 40 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R30\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 30 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R20\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 20 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R10\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při 10 % otevření výp. otvoru	[N]
$F_{R0\%}$	síla dle Rankina působící na plochy elementů při zcela uzavřeném výp. otvoru	[N]

F_n	normálová síla	[N]
F'_n	zatěžující síla	[N]
F_t	tečná síla	[N]
J_M	moment setrvačnosti elektromotoru	[kg · m ²]
K	parametr osové vzdálenosti	[mm]
L_p	délka řemene	[mm]
M_{DM}	dynamický moment elektromotoru	[N.m]
M_K	celkový kroutící moment	[N · mm]
M_M	jmenovitý moment elektromotoru	[N · m]
M_{SM}	statický moment elektromotoru	[N.m]
M_Z	záběrový moment elektromotoru	[N.m]
P	výkon pohonu	[W]
P_{ZM}	jmenovitý výkon elektromotoru	[kW]
R_D	hydraulický poloměr komory zásobníku	[m]
R_d	hydraulický poloměr výpustného otvoru	[m]
R_e	mez kluzu	[MPa]
$S_{1(100\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 100 % otevření	[mm ²]
$S_{2(90\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 90 % otevření	[mm ²]
$S_{3(80\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 80 % otevření	[mm ²]
$S_{4(70\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 70 % otevření	[mm ²]
$S_{5(60\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 60% otevření	[mm ²]
$S_{6(50\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 50 % otevření	[mm ²]
$S_{7(40\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 40 % otevření	[mm ²]
$S_{8(30\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 30 % otevření	[mm ²]

$S_{9(20\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 20 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{10(10\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající výp. otvor při 10 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{11(0\%)}$	plocha 1 elementu zaujímající zcela uzavřený výp. otvor	$[\text{mm}^2]$
$S_{100\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 100% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{90\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 90% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{80\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 80% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{70\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 70% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{60\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 60% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{50\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 50% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{40\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 40% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{30\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 30% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{20\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 20% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{10\%}$	plocha průměru výp. otvoru při 10% otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{0\%}$	plocha průměru výp. otvoru zcela uzavřeného	$[\text{mm}^2]$
S_D	plocha komory zásobníku	$[\text{m}^2]$
$S_{D-d(100\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 100 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(90\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 90 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(80\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 80 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(70\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 70 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(60\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 60 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(50\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 50 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(40\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 40 % otevření	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(30\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 30 % otevření	$[\text{mm}^2]$

$S_{D-d(20\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 20 % otevření	$[mm^2]$
$S_{D-d(10\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor při 10 % otevření	$[mm^2]$
$S_{D-d(0\%)}$	plocha elementů zaujímající výp. otvor zcela uzavřený	$[mm^2]$
S_d	plocha výpustného otvoru	$[m^2]$
T_{0CJ}	celková obv. síla dle Janssena působící na všechny elementy	$[N]$
T_{0CR}	celková obv. síla dle Rankina působící na všechny elementy	$[N]$
T_{0J}	obvodová síla dle Janssena působící na 1 element se zahrnutým čepovým třením	$[N]$
T_{0R}	obvodová síla dle Rankina působící na 1 element se zahrnutým čepovým třením	$[N]$
$T_{0J}^{'}$	obvodová síla dle Janssena působící na 1 element	$[N]$
$T_{0R}^{'}$	obvodová síla dle Rankina působící na 1 element	$[N]$
T_{0max}	max. obvodová síla řemene	$[N]$
V_C	zadaný objem zásobníku	$[m^3]$
V_V	objem komory (válce)	$[m^3]$
V_k	objem výsyvky (komolého kužele)	$[m^3]$
a	osová vzdálenost	$[mm]$
b	šířka řemene	$[mm]$
$b^{'}$	šířka pera	$[mm]$
b_g	šířka hlavy zubu řemenice	$[mm]$
d	navržený průměr výpustného otvoru	$[m]$
d_1	střední průměr závitu šroubu	$[mm]$
d_2	velký průměr závitu šroubu	$[mm]$
d_3	malý průměr závitu šroubu	$[mm]$
$d_{100\%}$	průměr výpustného otvoru při 100 % otevření	$[mm]$
$d_{90\%}$	průměr výpustného otvoru při 90 % otevření	$[mm]$
$d_{80\%}$	průměr výpustného otvoru při 80 % otevření	$[mm]$

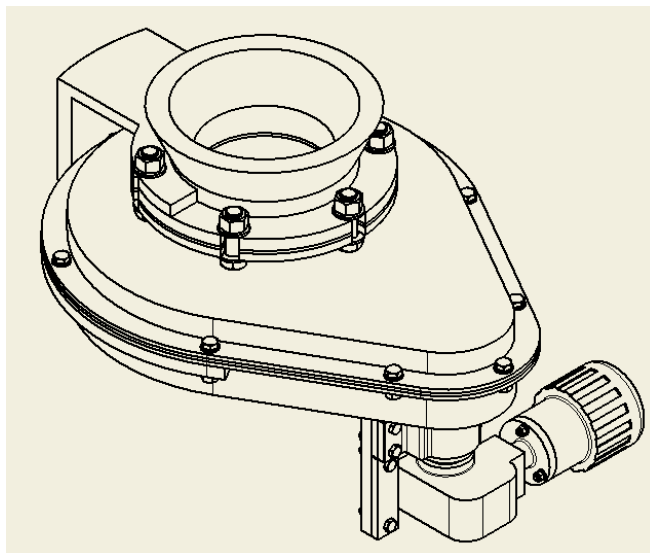
$d_{70\%}$	průměr výpustného otvoru při 70 % otevření	[mm]
$d_{60\%}$	průměr výpustného otvoru při 60 % otevření	[mm]
$d_{50\%}$	průměr výpustného otvoru při 50 % otevření	[mm]
$d_{40\%}$	průměr výpustného otvoru při 40 % otevření	[mm]
$d_{30\%}$	průměr výpustného otvoru při 30 % otevření	[mm]
$d_{20\%}$	průměr výpustného otvoru při 20 % otevření	[mm]
$d_{10\%}$	průměr výpustného otvoru při 10 % otevření	[mm]
$d_{0\%}$	průměr výpustného otvoru zcela uzavřen	[mm]
d_a	průměr hlavové kružnice malé řemenice	[mm]
d_{\max}	rozměr max. zrna	[m]
d_{\min}	minimální průměr výpustného otvoru	[m]
d_p	vypočtený roztečný průměr malé řemenice	[mm]
d_s	jmenovitý průměr závitu šroubu	[mm]
d'_p	navržený roztečný průměr malé řemenice	[mm]
f_1	souč. tř. mezi materiály elementů (ocel – ocel)	[-]
f_2	souč. tř. mezi moukou a nerez. plechem (lab.měř.)	[-]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
h_k	výška výsypky (komolého kužele)	[m]
h_r	výška zubu řemenice	[mm]
h_s	výška řemene	[mm]
h_t	výška zubu řemene	[mm]
h_v	výška komory (válce)	[m]
i	převodový poměr	[-]
i_p	převodový poměr převodovky	[-]
k	součinitel aktivního tlaku	[-]
k_c	koefficient provozní bezpečnosti	[-]
l	délka pera	[mm]
m	hmotnost mouky v odměrném válci	[kg]
m_M	hmotnost elektromotoru	[kg]
$m_{c.s}$	hmotnost celé sestavy	[kg]
$m_{el.0}$	hmotnost elementu 0	[kg]
$m_{el.1}$	hmotnost elementu 1	[kg]
$m_{el.2}$	hmotnost elementu 2	[kg]

n	počet elementů uzávěru výp. otvoru	[-]
n_M	jmenovité otáčky elektromotoru	$[\text{min}^{-1}]$
n_e	počet elektromotorů	[-]
$n_{\text{mal.řem.}}$	otáčky malé řemenice	$[\text{ot./s}]$
n_p	počet per	[-]
n_s	počet šroubů	[-]
$n_{\text{vel.řem.}}$	otáčky velké řemenice	$[\text{ot./s}]$
o_D	obvod komory zásobníku	[m]
o_d	obvod výpustného otvoru	[m]
p_H	horizontální tlak	[Pa]
p_N	normálový tlak	[Pa]
p_T	tečný tlak	[Pa]
p_V	vertikální tlak	[Pa]
p_b	rozteč zubů	[mm]
p_h	tlakové zatížení spoje	[MPa]
r_1	vnější poloměr zaoblení	[mm]
r_2	vnitřní poloměr zaoblení	[mm]
r_a	poloměr hlavy zubu řemene	[mm]
r_f	poloměr paty zubu řemene	[mm]
s	šířka zubu řemene	[mm]
t	čas, za který bude vykonán proces otevřeno/uzavřeno	[s]
t'	hloubka drážky pro pero v hřídeli	[mm]
t_l	hloubka drážky pro pero v náboji	[mm]
t_n	čas jedné otáčky	[s]
$2u$	vzdálenost roztečné kr. od hlavové kr. řemenice	[mm]
v	rychlost řemene	$[\text{m/s}]$
z_1	počet zubů malé řemenice	[-]
z_2	počet zubů velké řemenice	[-]
z_R	počet zubů řemene	[-]
α	sklon výsypky	$[\circ]$
α_e	úhel, o který se posunou elementy od úplného otevření až k úplnému uzavření	$[\circ]$

α'	360 °	[°]
β	úhel sklonu výsypky od horiz. roviny	[°]
γ_s	sypná tíha mouky	[N.m ⁻³]
2γ	úhel zubu řemene	[°]
δ	úhel zubu řemenice	[°]
ε	úhel hrany čtvercového výpustného otvoru	[°]
η_M	účinnost elektromotoru	[%]
η_{PS}	účinnost poháněcí stanice	[-]
μ	součinitel vnějšího tření za klidu	[-]
$\mu_{\check{c}}$	souč. čepového tření	[-]
μ_d	součinitel vnějšího tření za pohybu	[-]
ν	úhel vnějš. tř. sklad. mat. se stěnou zásobníku	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_s	sypná hmotnost	[kg/m ³]
σ_1	hlavní (vertikální) napětí	[Pa]
$\sigma_{1J}^{h_v}$	vertikální napětí v komoře zásobníku – Janssen	[Pa]
$\sigma_{2J}^{h_v}$	horizontální napětí v komoře zásobníku - Janssen	[Pa]
$\sigma_{1J}^{(h_v+h_k)}$	vertikální napětí v celém zásobníku - Janssen	[Pa]
$\sigma_{2J}^{(h_v+h_k)}$	horizontální napětí v celém zásobníku - Janssen	[Pa]
$\sigma_{1R}^{h_v}$	vertikální napětí v komoře zásobníku – Rankin	[Pa]
$\sigma_{2R}^{h_v}$	horizontální napětí v komoře zásobníku - Rankin	[Pa]
$\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)}$	vertikální napětí v celém zásobníku - Rankin	[Pa]
$\sigma_{2R}^{(h_v+h_k)}$	horizontální napětí v celém zásobníku - Rankin	[Pa]
σ_c	tlaková pevnost sypké hmoty	[Pa]
σ_D	dovolené napětí	[Pa]
τ_0	počáteční smykové napětí	[Pa]
φ	efektivní úhel vnitřního tření	[deg]
φ'	dynamický sypný úhel mouky	[deg]
ψ_s	statický sypný úhel skladovaného materiálu	[°]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]

0 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je navrhnout vhodnou variantu uzávěru výpustného otvoru zásobníku tak, aby splňovala požadavek plynulé změny výpustného otvoru.



Obr. 0.1 Uzávěr výpustného otvoru zásobníku [16]

V zásobníku bude uskladněn materiál v podobě mouky, konkrétněji mouky hrubé a proto je potřeba dodržet i další požadavek při volbě a návrhu vhodné varianty řešení, a to dokonalého utěsnění celého zařízení z důvodu velmi nežádoucí reakce mouky s vlhkostí a velmi malých částic mouky, které by mohli jednotlivé komponenty zařízení zanést a následně by byly příčinou problémů a možných, nežádoucích havárií.



Obr. 0.2 Skladovaný materiál [16]

Dále musí být splněny veškeré podmínky vztažené k prostředí, ve kterém se zařízení bude nacházet. Jedná se o potravinářský průmysl a proto je nezbytně nutné dodržet hygienické a bezpečnostní podmínky.

1 SKLADOVACÍ ZAŘÍZENÍ SYPKÝCH HMOT

Sypká hmota je ve smyslu ČSN 26 0070 náklad dopravovaný na dopravnících (ale také v dopravních prostředcích) sestávající ze zrn (částic) charakterizovaný svými mechanicko – fyzikálními vlastnostmi.

Sypké hmoty (materiály) jsou skladovány buď v uzavřených prostorách (zásobnících, silech) anebo při větších kvantech na skládkách na volném prostranství. [1]

1.1 ZÁSObNÍKY

Zásobníky sypkých hmot jsou nádrže geometrických tvarů (železobetonové, ocelové) sloužící k jejich spíše krátkodobému uskladnění. Slouží ke zrovnoměnění navazujících technologických operací, k vyrovnání výkyvu v dodávce a k optimalizaci dopravního systému.

Zásobníky dělíme:

Podle funkce:

- a) Zásobníky pravé, tj. určené primárně pro skladování materiálu
- b) Zásobníky nepravé, tj. určené pro jinou funkci (vagóny, vlečky, skluzy apod.), avšak využitelné i pro skladování

Podle provedení:

- a) Zásobníky konstrukční :

Pravoúhlé (jehlancovité)

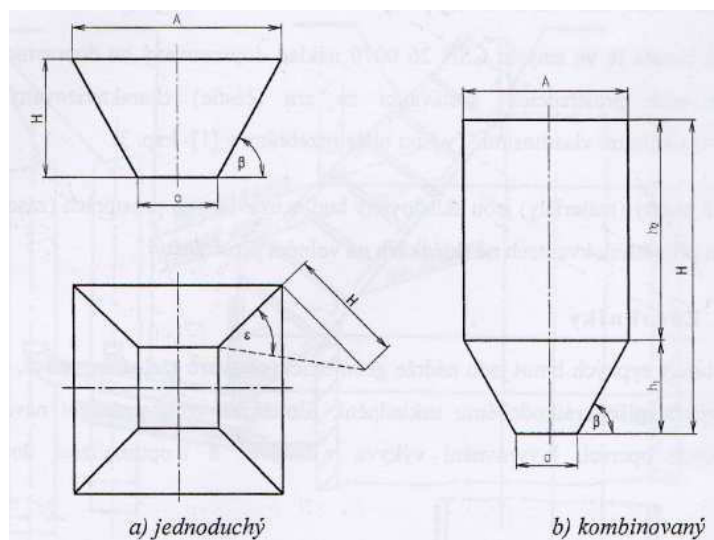
- Jednoduché
- Kombinované

Kruhové (kuželovité)

-
- Jednoduché
- Kombinované

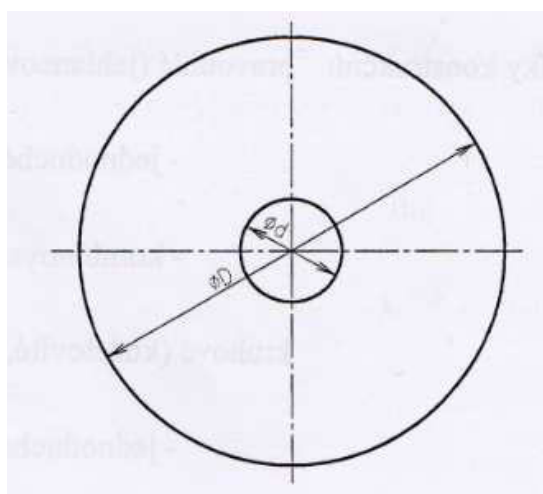
- b) Zásobníky štěrbinové

1.2 STANOVENÍ ROZMĚRŮ ZÁSOBNÍKU A VÝPUSTNÉHO OTVORU

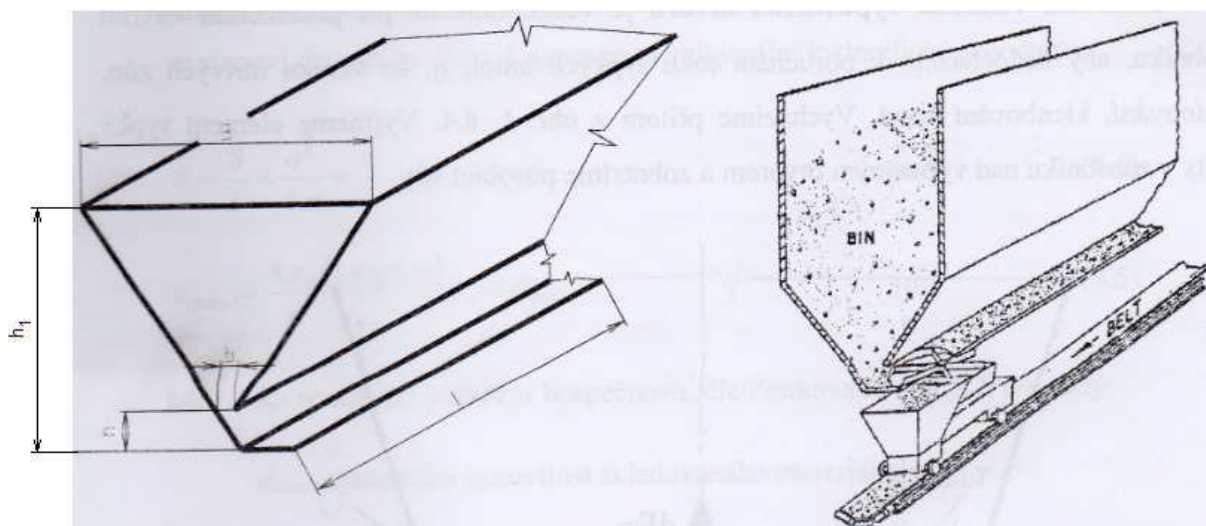


Obr. 1.1 Schéma pravoúhlého zásobníku [1]

U kruhových zásobníků jsou charakteristickými rozměry průměr D násypného a průměr d výsypného otvoru. Nárys jednoduchého a kombinovaného kruhového zásobníku je stejný jako u zásobníku pravoúhlého.



Obr. 1.2 Půdorys kruhového zásobníku [1]



Obr. 1.3 Štěrbínový zásobník [1]

Chování materiálu v zásobníku (zejména při jeho vyprazdňování) je výrazně ovlivněno jeho geometrickou stavbou, jmenovitě úhlem stěny β , úhlem hrany ε (to u pravoúhlého zásobníku a velikostí výpustního otvoru.

Doporučená podmínka pro úhel stěny β [°]

$$\beta = \psi_s + (5 \div 15) \quad [1] \quad (1.1)$$

$$\beta > \nu$$

kde ψ_s - statický sypný úhel skladovaného materiálu [deg]

ν - úhel vnějšího tření skladovaného material se stěnou zásobníku [deg]

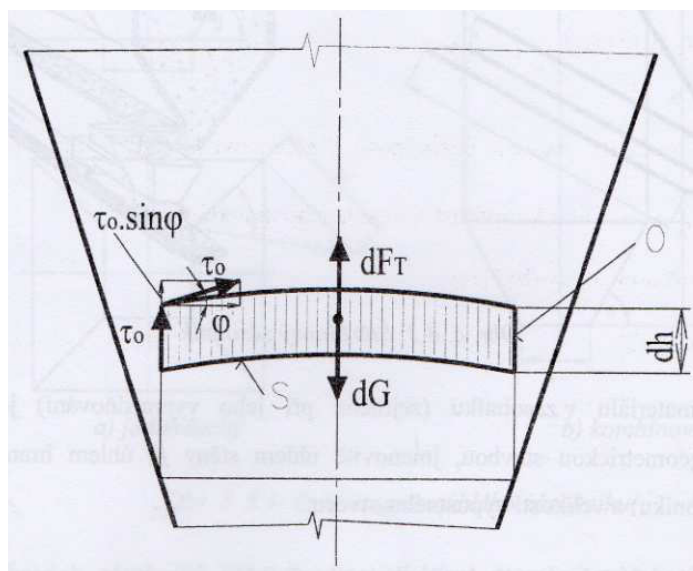
Stav stěn zásobníku se časem mění, opotřebovává se a úhel tření roste. U železobetonových zásobníků i 5 až 7 [deg], u ocelových stěn o 2 až 3 [deg].

U běžných materiálů, např. uhlí, bývá $\beta = 55[\text{deg}]$.

Doporučená podmínka pro úhel hrany ε [°]

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \nu + (5 \div 15) \\ \varepsilon &> \psi_s \end{aligned} \quad [1] \quad (1.2)$$

Stanovení velikosti výpustného otvoru je velice důležité při počátečním návrhu zásobníku, aby nedocházelo k poruchám toku sypkých hmot, tj. ke vzniku mrtvých zón, komínování, klenbování apod. Vycházíme přitom z obrázku 3. Vyjmeme element sypké hmoty v zásobníku nad výpustným otvorem a zobrazíme působící síly.



Obr. 1.4 Stanovení velikosti výpustného otvoru [1]

Z podmínky, aby tíha elementu byla větší než vnitřní tření materiálu, můžeme odvodit vztah pro minimální hydraulický poloměr výpustného otvoru R [m]

$$\begin{aligned} dG &> dF_T \\ S_d \cdot dh \cdot \gamma_s &> \tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot o_d \cdot dh \quad [1] \\ R = \frac{S_d}{o_d} &> \frac{\tau_0 \cdot (1 + \sin \varphi)}{\gamma_s} \end{aligned} \quad (1.3)$$

kde γ_s - sypná tíha skladovaného material $[N \cdot m^{-3}]$

τ_0 - počáteční soudržné napětí materiálu [Pa]

φ - úhel vnitřního tření [deg]

o_d - obvod výpustného otvoru [m]

S_d - plocha výpustného otvoru [m²]

Vlivem špatného návrhu zásobníku z neznalosti mechanicko – fyzikálních parametrů sypkých hmot se často stává, že dochází ke vzniku již zmíněných poruch v zásobnících.

Odstranění těchto poruch je obvykle nesnadné a velmi nákladné. Provádí se několika způsoby, např.:

- Mechanicky - ručně
- Elektromagnetickou vibrací
- Pneumaticky - pryžovými polštáři
 -vzduchovými děly

2 MECHANISMY TOKU V ZÁSObNÍCÍCH A SILECH – TOKOVÉ PROFILY

Tlakové poměry ve skladovacích zařízeních sypkých hmot při vysypávání sypké hmoty jsou složité a z toho vyplývá, že i tokové poměry jsou neobyčejně komplikované. Existuje mnoho mechanismů toku, podívejme se na dva základní mechanismy toku sypké hmoty. V praxi pozorujeme dva rozdílné modely toku sypké hmoty při vyprazdňování sila. Je to hmotový a jádrový tok. [9]

2.1 HMOTOVÝ TOK

- je charakterizován tím, že vrstvy materiálu odtékají v pořadí nasypávání (viz Obr. 2.1)

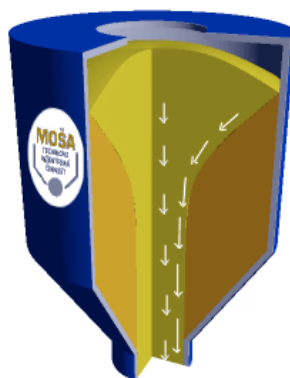


Obr. 2.1 Průběh hmotového toku sypké hmoty v silu [9]

Při otevření výsypného otvoru se veškerý materiál uvede do pohybu a začne klouzat po stěnách. Tyto zásobní sila se vyznačují poměrně strmými a hladkými stěnami výsypky, kdy sklon stěn výsypky od horizontální roviny , je v rozmezí $15 [^\circ]$ až $25 [^\circ]$. [9]

2.2 JÁDROVÝ TOK

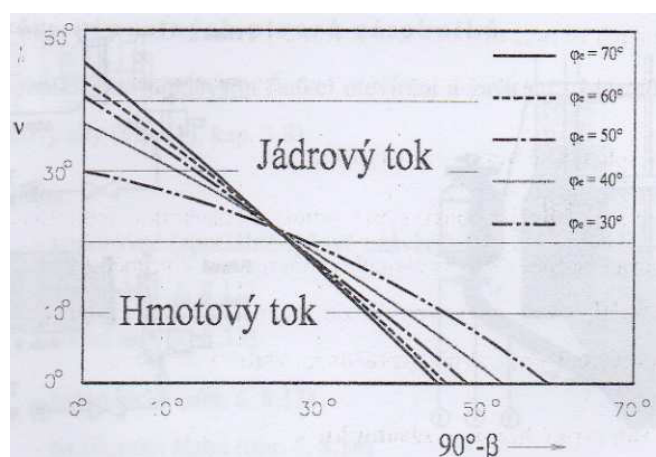
Jádrový tok sypké hmoty je charakterizován tím, že první nasypaná vrstva sypké hmoty odtéká ze zásobního sila jako poslední a tok probíhá především v oblasti nad výpustným otvorem (viz Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Jádrový tok [9]

V případě jádrového toku je první v pohybu sypká hmota, která je umístěna více nebo méně nad výpustným otvorem. Sypká hmota přiléhající na stěny sila zůstává v klidu a nazýváme ji mrtvou nebo nepohybující se zónou. Sypká hmota přiléhající na stěny sila se uvede do pohybu teprve až se k ní přiblíží hladina. Částice sypké hmoty sklouznou po povrchu do středu zásobního sila a pak se tekoucím jádrem dostanou do výpustného otvoru.

Stává se, že tuto tzv. mrtvou zónu uvolníme až po úplném vyprázdnění sila. Mrtvá zóna může dosáhnout hladiny plnění. Zásobní sila s tímto jádrovým tokem mají značné nevýhody. Může zde docházet k velké segregaci při vysypávání. Nevyprazdňuje - li se celé zásobní silo během provozu, stává se, že některé přiléhající vrstvy materiálu v mrtvé zóně se mohou spéci, případně znehodnotit. U těchto zásobních sil lze výpočtem stanovit velikost výpustného otvoru, aby nedocházelo ke tvorbě klenby, nebo ke vzniku tzv. středního tunelu. V praxi se většinou stává, že jsou velikosti výpustných otvorů u zásobních sil s jádrovým tokem poddimenzovány. Toto je příčinou mnoha kleneb a jejich zhroucení působí velké rázy v zásobních silech, což je důsledkem mnoha havárií. I přes nevýhody, které zde byly popsány, se tyto zásobní sila v průmyslu nejvíce vyskytují. [9]



Obr. 2.3 Graf závislosti mechanicko – fyzikálních parametrů sypké hmoty na sklonu výsypky zásobníku [1]

Pomocí tohoto grafu (viz Obr. 2.3) lze pro konkrétní sypkou hmotu, určenou pro skladování, navrhnout takový vnitřní kontaktní materiál a takový tvar zásobníku, aby sypká hmota tekla pouze hmotovým tokem.

Tok sypké hmoty jako celku je velice komplikovaný a závisí na mnoha parametrech, jak sypké hmoty, tak samotného skladovacího zásobníku a proto se návrh zásobníku pro konkrétní skladovací materiál neobejde bez odborného posouzení.

2.3 PROBLEMATIKA TOKU SYPKÝCH MATERIÁLŮ

Dané problémy s tokem materiálů se vyskytují v řadě výrobních společností. Všude tam, kde se zpracovávají sypké hmoty.

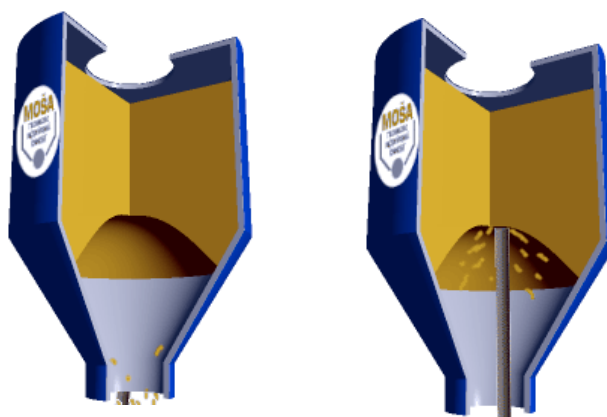
Skladovacím zařízením sypkých hmot (dále jen „zásobní silo“) je stabilní silo nebo prostorová konstrukce umožňující skladování sypké hmoty, jehož objem přesahuje 3 m³ a ve kterém lze skladovat sypké hmoty o výšce přesahující 1500 [mm]. Jedná se zde o plnění zásobního sila, uložení sypké hmoty a dále vyprazdňování.

Pro oblast definice je sypká hmota materiálem, složeným z jednotlivých částic se soudržností vzniklou třením, jehož synpý úhel vyjádřený ve stupních, který svírá vodorovná rovina a povrchová přímka synpého kužele, nepřesáhne 60 stupňů.

Typickými problémy, které se mohou vyskytnout při manipulaci se soudržnými sypkými materiály jsou následující:

2.3.1 Klenba

Ve většině případů se vytvoří klenba u výsypného otvoru výsypky. Klenba má tu vlastnost, že vlastní váhu sypkého materiálu přenáší do stěn výsypky a žádnou sílu nepřenáší do spodních vrstev. Pokud je klenba pevná a ustálená nad výsypným otvorem, potom je zastaveno vysypávání sypké hmoty. Tuto situaci můžeme pozorovat na Obr. 2.4. V případě dobře zrnitého materiálu, tj. kohezivní sypké hmoty, je oblast klenby pevnější. Je to způsobeno adhezivní silou mezi částicemi. Vzniku klenby můžeme předcházet dostatečně velkým výpustným otvorem. [9]



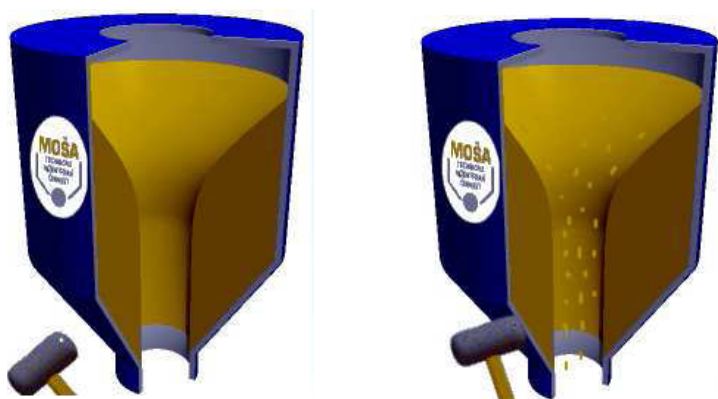
Obr. 2.4 Možný způsob odstraňování klenby [9]



Obr. 2.5 Vznik klenby (energósádovec) [9]

2.3.2 Netekoucí materiál na stěnách případně vznik středního tunelu

Pokud sypká hmota přiléhající na stěny sila zůstává v klidu, vznikne mrtvá zóna. Sypká hmota přiléhající na stěny sila se uvede do pohybu teprve až se k ní přiblíží hladina. Tento typický jádrový tok se může vyvinout až v tok tzv. středního tunelu. Danou situaci můžeme pozorovat na Obr. 2.6. Soudržnost sypké hmoty může dorůstat se vzrůstající periodou skladování, kdy je sypká hmota v klidu. [9]



Obr. 2.6 Možný způsob odstraňování netekoucího materiálu, popř. středního tunelu [9]



Obr. 2.7 Ocelová stěna výsypky s netekoucím materiálem (hnědé uhlí) [9]

2.3.3 Nepравidelný tok

Vyskytuje se při vzniku klenby, středního tunelu a sesouvání materiálu v zásobním silu střídavě. V případě výskytu jemně zrnité sypké hmoty, můžeme aplikovat technologii pročeřování - fluidizace. Načeřený materiál „vytéká“ z otevřeného výsypného otvoru. Toto čeření je ale příčinou zvětšení prachových podílů, kdy je nutno správně dimenzovat přídatné filtrační zařízení. Stává se, že zvýšenými prachovými podíly někdy nepravidelný tok i způsobíme. [9]

2.3.4 Delší doba skladování – rozdělení materiálu

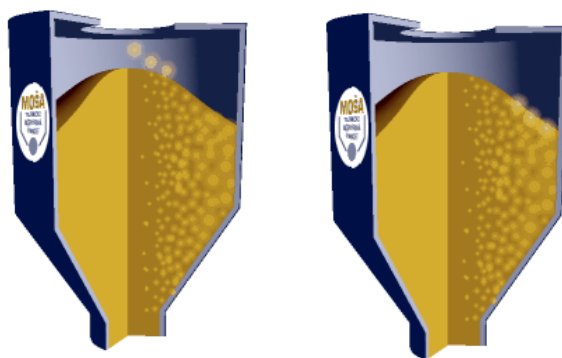
Pokud se vyskytne mrtvá zóna (střední tunel), sypká hmota je v této zóně vysypávána pouze pokud je silo kompletně vyprázdněno. Sypká hmota, která byla naplněna později je v případě jádrového toku vysypávána jako první - dříve. V tomto případě, je otázka doby skladování velice důležitá a to při skladování například krmiva nebo produktů, které mění své vlastnosti v závislosti na čase. [9]



Obr. 2.8 Vznik středního tunelu (směs písku a kaolínu) [9]

2.3.5 Segregace

Při plnění zásobního sila se nahromadí a usazuje sypká hmota na stěnách. Pokud není sypká hmota homogenní, a máme zde různé směsi, je zde možnost vzniku segregace. Segregace souvisí s velikostí částic a měrnou hmotností dané sypké hmoty (viz Obr. 2.9). V případě středového plnění jak vidíme na obrázku, se větší částice shlukují a uzavírají na stěnách sila, zatímco menší částice se shlukují ve středu. V případě jádrového toku materiálu, drobnější částice, které se nacházejí ve středu, opouštějí silo jako první. Hrubší částice jsou vysypávány jako poslední. Tento efekt je nepříjemný hlavně v případě, kdy je důležitá homogenita dané směsi, jako například při expedování. Pokud toto zásobní silo slouží jako mezizásobník, dochází např. u balicího stroje a plnění pytlů k nehomogenitě plnicího obsahu. V případě hmotového toku dochází samozřejmě také k částečné segregaci materiálu při plnění sila, avšak při následném vyprazdňování dochází k promíchávání „mixování“ jednotlivých vrstev. Jednotlivé vrstvy se plynule snižují k výsypnému otvoru zásobního sila.



Obr. 2.9 Segregace [9]

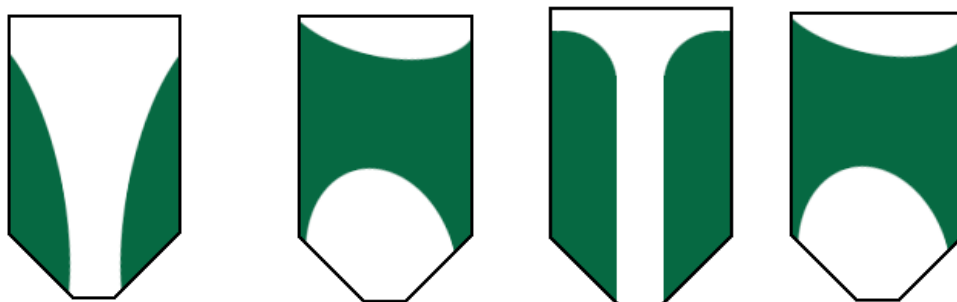
Všechny výše zmíněné problémy se mohou vyskytnout v zásobním síle, pokud je zde jádrový tok sypké hmoty. Problémy se nevyskytnou ve správně navrženém zásobním síle, pokud je zde hmotový tok. Uváděný případ segregace, vzniku středového tunelu, nepravidelný tok, fluidizace sypké hmoty se zde neobjeví. [9]

Navržení vhodného hmotového toku materiálu (viz Obr. 2.1) je vázáno taktéž na dobu skladování a dobu otevření, či uzavření výsypného otvoru.

Shrnutí:

Čtyři typy problémů netekoucích materiálů v zásobních sílech:

netekoucí materiál na stěnách vznik klenby vznik středního tunelu vznik oblouku



Obr. 2.10 Typy možných problémů netekoucích materiálů v sílech [9]

Pro navržení hmotového toku v sílech jsou důležité dva kroky:

1. výpočet požadovaného sklonu stěny síla, který zajistí hmotový tok
2. správné navržení minimální velikosti výsypného otvoru

3 MECHANIKA SYPKÝCH HMOT – SKLADOVÁNÍ

SYPKÝCH HMOT V ZÁSOBNÍCÍCH A SILECH

Problémům skladování sypkých hmot v zásobnících a silech se můžeme vyhnout, pokud budeme projektovat a navrhovat daná zařízení s ohledem na tokové vlastnosti sypkých hmot, které skladujeme.

Předmětem této kapitoly je popis některých důležitých veličin, které jsou nutné pro výpočet stanovení tokových vlastností. Není zde podrobné vysvětlování teorie sypkých hmot, ukážeme si však na některé důležité skutečnosti, na které nesmíme zapomenout.

Jednotlivé mechanicko - fyzikální vlastnosti sypkých hmot jako např. hodnota úhlu vnitřního a vnějšího tření, hodnota počátečního smykového napětí, úhel sklonu stěn zásobníků atd., mají vliv na tvar zásobního sila, což úzce souvisí se vznikem netekoucího materiálu.

3.1 MOŽNÉ PROBLÉMY V TECHNOLOGII SYPKÝCH HMOT

Na následujících obrázcích vidíme problémy, ke kterým může docházet v technologii dopravy sypkých hmot:

- Mechanické obouchávání výsypané části svodu (materiál je energosádovec)



Obr. 3.1 Mechanické obouchávání výsypané části svodu [9]

- Obouchávání výsypné části zásobníku i přes aplikaci vibrátorů (materiálem jsou suché maltové směsi)



Obr. 3.2 Obouchávání části zásobníku i přes aplikaci vibrátorů [9]

- Probouchaný výsyp cyklónu i přes aplikaci vibračních kladiv



Obr. 3.3 Probouchaný výsyp cyklónu [9]

- Probouchaný výsypný díl nad spodním pneumatickým vykladačem



Obr. 3.4 Probouchaný výsypný díl [9]

- Probouchaná dopravní technologie (materiálem je prášek PVC)



Obr. 3.5 Probouchaná dopravní technologie [9]

3.2 DEFINICE JEDNOTLIVÝCH VELIČIN

- **Úhel vnitřního tření**

Úhel vnitřního tření zahrnuje tření mezi jednotlivými zrny materiálu (více viz kapitola 5.1.1).

- **Úhel vnějšího tření**

Vyjadřuje velikost tření mezi částicemi materiálu a kontaktním povrchem skladovacího zařízení (více viz kapitola 5.2.1).

- **Tlaková pevnost materiálu**

Hlavní napětí při jednoosém stavu napjatosti (tlaková pevnost σ_c sypké hmoty jako funkce velikosti hlavního napětí σ_1 v sypké hmotě).

- **Sypná hmotnost sypké hmoty**

Sypná hmotnost je hmotnost objemové jednotky rozpojeného, volně sypaného materiálu, tj. materiálu ve stavu, ve kterém se dopravuje.

- **Počáteční smykové napětí**

Udrží syké těleso pohromadě. Působí s vnitřním třením na smykových plochách. Je to napětí vymezené lineární tokovou čarou granulární hmoty.

4 UZÁVĚRY VÝPUSTNÝCH OTVORŮ ZÁSOBNÍKŮ

Uzávěry zásobníků slouží k úplnému uzavření výpustných otvorů zásobníku. U některých typů lze vhodným nastavením uzavíracího prvku dosáhnout regulace odběru. Uzávěry zásobníků jsou normalizovány v ČSN 26 0041. Nejčastěji se používají:

- a) uzávěry tyčové
- b) šoupátkové plochy
- c) segmentové kryté
- d) segmentové dvojité
- e) segmentové s horním otvíráním
- f) segmentové s dolním otvíráním
- g) lopátkové s dolním otvíráním
- h) odvalovací
- i) žlabové
- j) zvonové

Ad a) Uzávěry tyčové se dobře hodí pro křehký materiál s malou objemovou hmotností, malým součinitelem vnitřního tření, při zrnění do 30 [mm] a pro materiál netříděný. Jsou vhodné jen pro nahodilé, nejvýše občasné uzavírání. Nehodí se k řízení toku materiálu, avšak umožňují narušování kleneb materiálu.

Ad b) Uzávěry šoupátkové ploché jsou vhodné pro tříděný materiál křehký s malou objemovou hmotností, s malým součinitelem tření, se zrny do 30 [mm] a pro časté uzavírání. Tok materiálu je možno šoupátkovými uzávěry hrubě řídit.

Ad c) Uzávěry segmentové kryté se hodí pro tříděný křehký materiál s malou objemovou hmotností, malým součinitelem tření, se zrny do 40 [mm] a pro časté uzavírání. Hrubé řízení toku materiálu je u nich možné. Tyto uzávěry jsou prachotěsné.

Ad d) Uzávěry segmentové dvojité jsou pro jemnozrný, třeba i tvrdý materiál, bez zřetele k objemové hmotnosti, popř. i pro křehký materiál větší zrnitosti, tříděný, jemuž nevádí drcení

mezi uzavíracími čelistmi. Poskytují možnost velmi častého a rychlého uzavírání i hrubého řízení toku materiálu.

Ad e) Uzávěry segmentové s horním otvíráním jsou vhodné pro stejné podmínky jako uzavěry segmentové dvojité.

Ad f) Uzávěry segmentové s dolním otvíráním jsou vhodné pro všechny druhy materiálu bez zřetele k objemové hmotnosti, velikosti zrna (kromě prachu), k tvrdosti, pro tříděný i netříděný materiál. Umožňují časté uzavírání. Jsou nevhodné k řízení toku materiálu.

Ad g) Uzávěry lopatkové s dolním otvíráním jsou vhodné pro všechny druhy materiálu bez zřetele k objemové hmotnosti i tvrdosti, stejně jako uzavěry v předchozím odstavci. Umožňují uzavírání, ale nehodí se k řízení toku materiálu.

Ad h) Uzávěry odvalovací s pryžovým pásem se konstruuje pro všechny druhy materiálů i materiály tzv. plastické (beton, malta) bez zřetele k objemové hmotnosti, pro materiály středního i hrubého zrnění, obzvlášť pro materiály abrazivní, protože se uzavírací pryžový pás pod materiálem odvaluje. Časté uzavírání je možné, k řízení toku materiálu se nehodí.

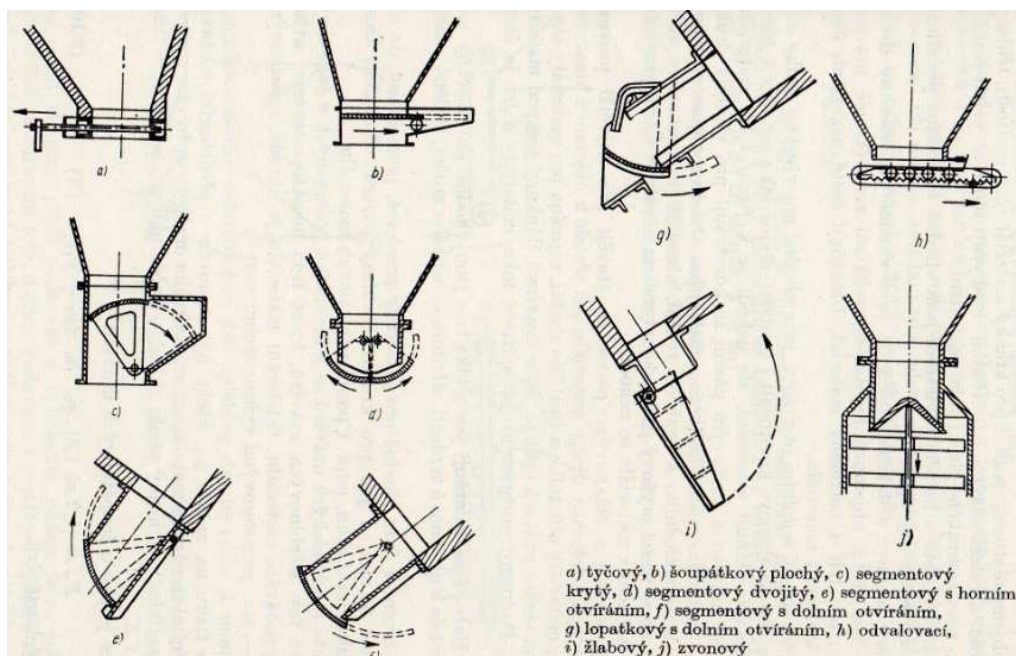
Uzávěry odvalovací s článkovým pásem se stavějí pro největší provozy na velké výkony, pro všechny druhy materiálu bez zřetele k objemové hmotnosti i tvrdosti, pro materiály středního a hrubého zrnění, zejména pro materiály abrazivní. Výhodou těchto uzavěrů opět je, že se uzavírací článkový pás pod materiálem odvaluje. Poskytují možnost hrubého řízení toku materiálu a lze je často uzavírat.

Ad i) Uzávěry žlabové se uplatňují jen zřídka, ale jsou vhodné pro všechny materiály, bez zřetele k objemové tvrdosti, středního i hrubého zrnění, tříděné i netříděné.

Ad j) Uzávěry zvonové jsou vhodné pro materiály prachové, jemnozrnné, do velikosti zrna asi 60 [mm] a jen pro kruhové průřezy otvorů. Umožňují časté uzavírání, hrubé řízení toku, popř. i porušování kleneb materiálu.

Kromě těchto mechanických uzavěrů se u zásobníků postavených v řadě s výhodou používá tzv. šterbinových uzavěrů, které jsou neustále otevřené, avšak nedovolují vypadávání materiálu. Odebírání materiálu je nucené lopatkovými vyhrabávači - tzv. propelerovými vyhrnovacími vozy.

Ovládání uzávěrů může být ruční, pneumatické, hydraulické nebo elektromotorem. Při ručním ovládání jsou silové účinky omezeny maximální hodnotou 200 [N] na ručních pákách a 350 [N] na pákách nožních.



Obr. 4.1 Uzávěry zásobníků [3]



Obr. 4.2 Možné typy šoupátkových uzávěrů [10]

5 MĚŘENÍ MECHANICKO – FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MOUKY

Jak už bylo řečeno, skladovaným materiálem bude hrubá mouka a pro výpočet uzávěru a celý jeho konstrukční návrh, je nutné znát mechanicko – fyzikální vlastnosti mouky. Tyto vlastnosti jsem změřil a následně vyhodnotil v Laboratoři sypkých hmot (LSH) za pomoci přístroje na měření granulometrie Mastersizer 2000, Jenikeho přímočarého smykového stroje a také pomocí odměrného válce.



a)

b)

c)

Obr. 5.1 Přístroje a pomůcky pro měření mechanicko – fyzikálních vlastností mouky [16]

a) Mastersizer 2000 – granulometrie, b) odměrný válec – sypná hmotnost, c) Jenikeho přímočarý smykový stroj

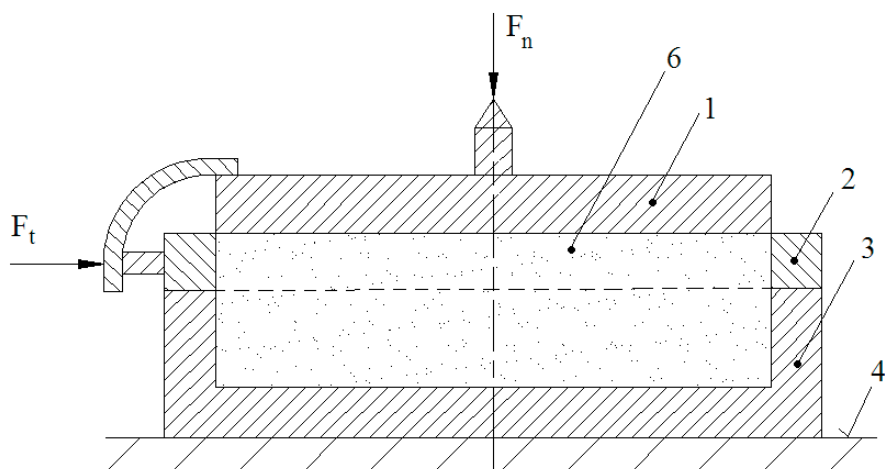
5.1 ÚHEL VNITŘNÍHO TŘENÍ

První měřenou vlastností mouky byl úhel vnitřního tření.

5.1.1 Definice a princip měření

Úhel vnitřního tření zahrnuje tření mezi jednotlivými zrny materiálu. U téhož materiálu závisí na normálovém tlaku a na míře konsolidace materiálu. S rostoucím

vertikálním napětím σ_1 úhel vnitřního tření sypké hmoty roste. Měření se provádí na smykovém a rotačním stroji na čerstvém a konsolidovaném materiálu.



Obr. 5.2 Princip měření úhlu vnitřního tření [16]

K podložce 4 je pevně připevněn kroužek 3. Na něj se položí kroužek 2 a vzniklý objem se zaplní měřeným materiálem 6. Materiál se upěchuje tzv. twistováním a zatíží víčkem 1 předem definovanou silou F_n vyvozenou pomocí závaží (4, 8, 12, 16). Na víčko 1 působí tečná síla F_t od smykového stroje, jehož pohon koná přímočarý pohyb. Kroužek 2 je posouván vůči kroužku 3 a tím dochází k posunu horní vrstvy materiálu po spodní. Hodnota F_t je odečítána na monitoru a dochází k záznamu a vyhodnocení.

Tečná síla F_t		
Pro 16 závaží	113,1	[N]
Pro 12 závaží	89,7	[N]
Pro 8 závaží	62,5	[N]
Pro 4 závaží	38,5	[N]

Tabulka 5.1 Zaznamenané hodnoty tečné síly [16]

5.2. ÚHEL VNĚJŠÍHO TŘENÍ

Další měřenou vlastností mouky byl úhel vnějšího tření. Za kontaktní materiály s moukou jsem si zvolil smalt, nerez a plast.

5.2.1 Definice a princip měření

Úhel vnějšího tření je úhlem, při kterém sypký materiál začíná klouzat po podložce a je třeba odlišovat úhel vnějšího tření:

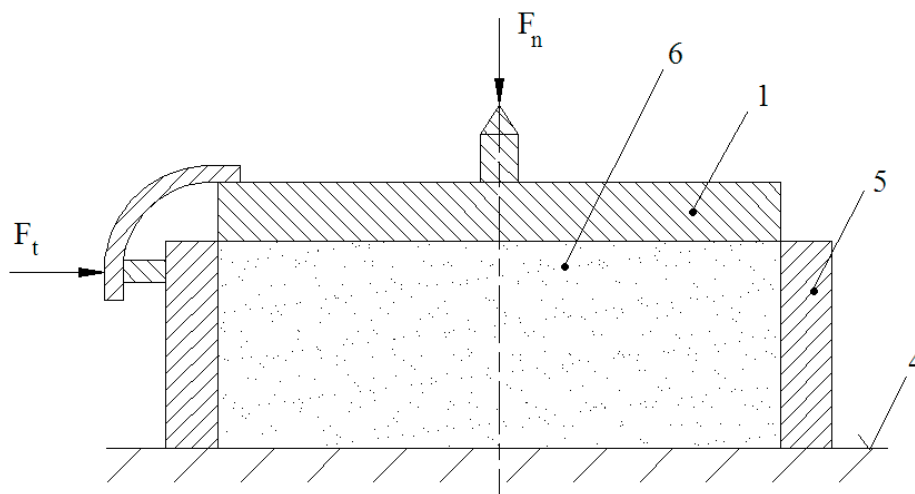
- za klidu $\operatorname{tg} \varphi = \mu$, kde μ - součinitel vnějšího tření za klidu [2] (5.1)

- za pohybu $\operatorname{tg} \varphi_d = \mu_d$, kde μ_d - součinitel vnějšího tření za pohybu [2] (5.2)

Vzájemnou relaci mezi úhlem vnějšího tření za klidu a za pohybu lze vyjádřit následujícím vztahem

$$\mu_d < \mu \rightarrow \varphi_d < \varphi \quad [^\circ] \quad [2] \quad (5.3)$$

Součinitel vnějšího tření se mění s velikostí normálového tlaku. Výrazně závisí na typu podkladového materiálu a jeho stavu. Měření se provádí na stejném zařízení jako u úhlu vnitřního tření.



Obr. 5.3 Princip měření úhlu vnějšího tření [16]

Princip měření je obdobný jako u měření úhlu vnitřního tření s tím rozdílem, že na podložku 4 je volně položen kroužek 5, který je přes víčko zatížen normálovou silou F_n

vyvozenou opět závažím (4, 8, 12, 16) a posouván silou F_t . Vrstva materiálu je posouvána po podložce (smalt, nerez, plast).

Tečná síla F_t			
SMALT	Pro 4 závaží	15	[N]
	Pro 8 závaží	22,5	[N]
	Pro 12 závaží	29	[N]
	Pro 16 závaží	34	[N]
NEREZ	Pro 4 závaží	21,9	[N]
	Pro 8 závaží	34,7	[N]
	Pro 12 závaží	46,9	[N]
	Pro 16 závaží	57,5	[N]
PLAST	Pro 4 závaží	29,9	[N]
	Pro 8 závaží	49	[N]
	Pro 12 závaží	65,3	[N]
	Pro 16 závaží	80,4	[N]

Tabulka 5.2 Zaznamenané hodnoty tečné síly [16]

Poznámka:

Hmotnost jednoho závaží má hodnotu cca. 1,1 [kg].

5.3 SYPNÁ HMOTNOST

Další a poslední potřebnou vlastností mouky k dalším výpočtům a návrhu je sypná hmotnost mouky. Tuto vlastnost jsem zjistil za pomoci odměrného válce, do kterého jsem, dle jeho stupnice, nasypal 100 [ml] mouky a jeho obsah jsem zvážil. Poté, na základě známého vzorce, jsem sypnou hmotnost vypočítal.

$$100 \text{ [ml]} = 0,0001 \text{ [m}^3] \Rightarrow 0,074 \text{ [kg]}$$

$$\rho_s = \frac{m}{V} \quad [6] \quad (5.4)$$

$$\rho_s = \frac{0,074}{0,0001}$$

$$\rho_s = 740 \text{ [kg/m}^3]$$

Poznámka:

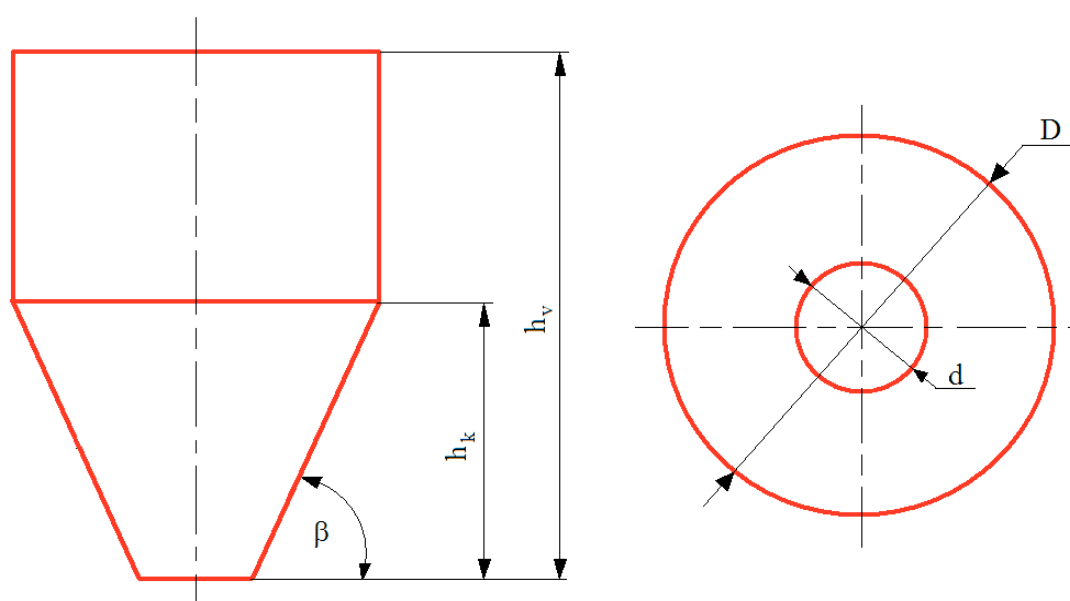
Vyhodnocení laboratorního měření viz přílohy A, B, C.

6 STANOVENÍ TYPU A ROZMĚRŮ ZÁSObNÍKU

Po zjištění mechanicko – fyzikálních vlastností hrubé mouky je dále potřeba vybrat vhodné řešení (typ a rozměry) zásobníku, na který bude poté umístěn uzávěr výpustného otvoru, který je v této diplomové práci řešen.

Jak je uvedeno v kapitole 1.1, je několik druhů zásobníků, lišící se od sebe jak geometrickými tvary, tak i rozměry.

Vzhledem k zadaným parametrům a rozdílné míře obtížnosti konstrukčního řešení zásobníků jsem zvolil konstrukční zásobník kruhového průřezu. Takto vybraný geometrický tvar zásobníku, vztažený k dané problematice, se mi zdá jako nejvhodnější variantou.



Obr. 6.1 Konstrukční zásobník kruhového průřezu [16]

Sklon výsypky

$$\alpha = \varphi' + (5^\circ \div 10^\circ) \quad [8] \quad (6.1)$$

$$\alpha = 15 + 10$$

$$\alpha = 25 [^\circ]$$

kde φ' - dynamický sypný úhel mouky $[^\circ]$

$$\varphi' = 15 [^\circ] \quad [2]$$

Výška a objem výsypky (komolého kužele)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,175}{h_k} \rightarrow h_k = \frac{0,175}{\operatorname{tg} \alpha} \quad [8] \quad (6.2)$$

$$h_k = \frac{0,175}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$h_k = \frac{0,175}{\operatorname{tg} 25^\circ}$$

$$\mathbf{h_k = 0,375 [m]}$$

$$V_k = \frac{\pi \cdot h_k}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) \quad [8] \quad (6.3)$$

$$V_k = \frac{\pi \cdot 0,375}{12} \cdot (0,5^2 + 0,5 \cdot 0,15 + 0,15^2)$$

$$\mathbf{V_k = 0,034 [m^3]}$$

kde D – navržený průměr komory zásobníku [m]

$$\mathbf{D = 0,5 [m]}$$

d – navržený (zadaný) průměr výpustného otvoru [m]

$$\mathbf{d = 0,15 [m]}$$

Objem a výška komory zásobníku (válce)

$$V_C = V_v + V_k \rightarrow V_v = V_C - V_k \quad (6.4)$$

$$V_v = 0,1 - 0,034$$

$$\mathbf{V_v = 0,066 [m^3]}$$

kde V_C - zadaný objem zásobníku [m³]

$$\mathbf{V_C = 0,1 [m^3]}$$

$$V_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_v \rightarrow h_v = \frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot D^2} \quad [8] \quad (6.5)$$

$$h_v = \frac{4 \cdot 0,066}{\pi \cdot 0,5^2}$$

$$\mathbf{h_v = 0,34 [m]}$$

Minimální průměr výpustného otvoru

$$d_{\min} = \frac{4 \cdot \tau_0 \cdot (1 + \sin\varphi)}{\gamma_s} \cdot k_c + d_{\max} \quad [4] \quad (6.6)$$

$$d_{\min} = \frac{4 \cdot 757,6 \cdot (1 + \sin 31,13^\circ)}{7259,4} \cdot 1 + 0,000396$$

$$\mathbf{d_{\min} = 0,634 [m]}$$

kde τ_0 - počáteční smykové napětí (zjištění laboratorním měřením) [Pa]

$$\mathbf{\tau_0 = 757,6 [Pa]}$$

φ – efektivní úhel vnitřního tření (zjištění laboratorním měřením) [deg]

$$\mathbf{\varphi = 31,13 [^\circ]}$$

γ_s – sypná tíha mouky [$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$]

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad [4] \quad (6.7)$$

$$\gamma_s = 740 \cdot 9,81$$

$$\mathbf{\gamma_s = 7259,4 [N \cdot m^{-3}]}$$

ρ_s – změřená sypná hmotnost mouky [kg/m^3]

$$\mathbf{\rho_s = 740 [kg/m^3]}$$

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

$$\mathbf{g = 9,81 [m/s^2]}$$

$k_c = (1 \div 4)$ - koeficient provozní bezpečnosti [-]

$$\mathbf{k_c = 1 [-]} \text{ - zvoleno } [4]$$

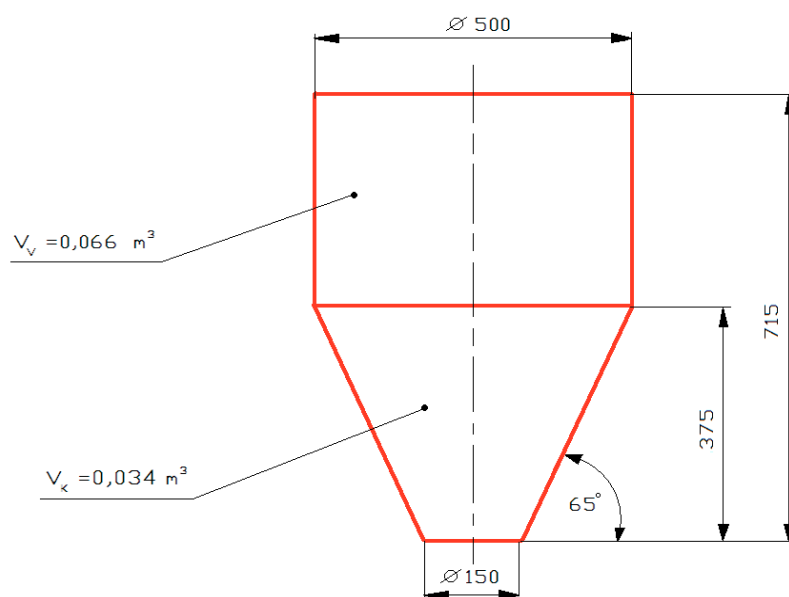
d_{\max} – rozměr max. zrna (zjištěno laboratorním měřením) [m]

$$\mathbf{d_{\max} = 0,000396 [m]}$$

Poznámka:

Je známo, že mouka má velkou časovou konsolidaci (pokud je dlouho v klidu, začnou se vytvářet klenby), proto se v tomto případě nelze orientovat vypočteným výpustným otvorem, který je na uvedené rozměry zásobníku nevyhovující a zásobník bude opatřen provzdušňovacím zařízením a to z důvodu možného výskytu jednoho z největších problémů uskladňování sypkých hmot v zásobnících, tvorby kleneb. Proto bude hodnota průměru výpustného otvoru volena dle již navrženého parametru $d = 0,15 [m]$.

Dle takto vypočtených a zvolených hodnot bude, alespoň schematicky, vypadat zásobník následovně:



Obr. 6.2 Schematicky znázorněné vypočtené rozměry zásobníku [16]

7 VÝPOČET TLAKŮ, PŮSOBÍCÍCH V KOMOŘE A VÝSYPCE ZÁSOBNÍKU

Nyní jsem, dle již výše vypočtených hodnot, stanovil tlaky, které působí v komoře a výsypce zásobníku.

7.1 TLAKY V KOMOŘE ZÁSOBNÍKU

Plocha komory zásobníku

$$S_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [6] \quad (7.1)$$

$$S_D = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4}$$

$$S_D = 0,2 \text{ [m}^2\text{]}$$

Plocha výpustného otvoru

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [6] \quad (7.2)$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4}$$

$$S_d = 0,02 \text{ [m}^2\text{]}$$

Obvod komory zásobníku

$$o_D = \pi \cdot D \quad [6] \quad (7.3)$$

$$o_D = \pi \cdot 0,5$$

$$o_D = 1,57 \text{ [m]}$$

Obvod výpustného otvoru

$$o_d = \pi \cdot d \quad [6] \quad (7.4)$$

$$o_d = \pi \cdot 0,15$$

$$\mathbf{o_d = 0,47 [m]}$$

Hydraulický poloměr komory zásobníku

$$R_D = \frac{S_D}{o_D} \quad [4] \quad (7.5)$$

$$R_D = \frac{0,2}{1,57}$$

$$\mathbf{R_D = 0,125 [m]}$$

Hydraulický poloměr výpustného otvoru

$$R_d = \frac{S_d}{o_d} \quad [4] \quad (7.6)$$

$$R_d = \frac{0,02}{0,47}$$

$$\mathbf{R_d = 0,04 [m]}$$

Součinitel aktivního tlaku

$$k = \frac{1 - \sin\varphi_e}{1 + \sin\varphi_e} \quad [2] \quad (7.7)$$

$$k = \frac{1 - \sin 31,13^\circ}{1 + \sin 31,13^\circ}$$

$$\mathbf{k = 0,32 [-]}$$

Vertikální tlak

$$p_V = \frac{\gamma_S \cdot R_D}{f_2 \cdot k} \cdot \left(1 - e^{-\frac{h_V \cdot f_2 \cdot k}{R_D}} \right) \quad [8] \quad (7.8)$$

$$p_V = \frac{7259,4 \cdot 0,125}{0,31 \cdot 0,32} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,34 \cdot 0,31 \cdot 0,32}{0,125}} \right)$$

$$p_V = 2164,63 \text{ [Pa]}$$

kde f_2 - součinitel tření mezi moukou a nerezovým plechem (zjištění laboratorním měřením) [-]

$$f_2 = 0,31 \text{ [-]}$$

Horizontální tlak

$$p_H = p_V \cdot k \quad [8] \quad (7.9)$$

$$p_H = 2164,63 \cdot 0,32$$

$$p_H = 689,23 \text{ [Pa]}$$

7.2 TLAKY V KUŽELOVÉ VÝSYPCENormálový tlak

$$p_N = \frac{p_V + p_H}{2} + \frac{p_V - p_H}{2} \cdot \cos 2\beta \quad [8] \quad (7.10)$$

$$p_N = \frac{2164,63 + 689,23}{2} + \frac{2164,63 - 689,23}{2} \cdot \cos 2 \cdot 65^\circ$$

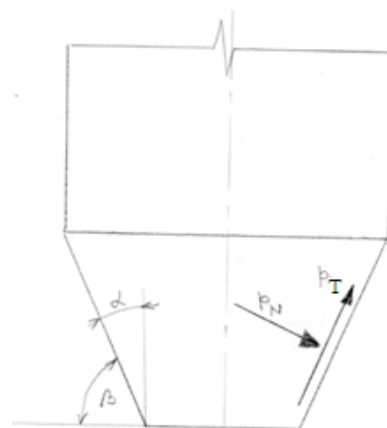
$$p_N = 952,75 \text{ [Pa]}$$

kde β - úhel sklonu výsypky od horiz. roviny [°]

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\beta = 90^\circ - 25^\circ$$

$$\beta = 65^\circ$$



Obr. 7.1 Působící tlaky [16]

Tečný tlak

$$p_T = \frac{p_V + p_H}{2} \cdot \sin 2\beta \quad [8] \quad (7.11)$$

$$p_T = \frac{2164,63 + 689,23}{2} \cdot \sin 2 \cdot 65^\circ$$

$$p_T = 1093,09 \text{ [Pa]}$$

8 VÝPOČET TLAKŮ PŮSOBÍCÍCH V MÍSTĚ VÝPUSTNÉHO OTVORU DLE 2 TEORIÍ

Následující výpočty tlaků působících v místě výpustného otvoru jsou provedeny dle 2 známých teorií a to:

a) Teorie dle Janssena

b) Teorie dle Rankina

Ad a)

Teorie dle Janssena je teorií přesnější, která předpokládá, že sloupec uvnitř zásobníku je zavěšen na ostatních vrstvách materiálu a jejich prostřednictvím na stěnách. Bere tedy v úvahu vnitřní a vnější tření materiálu.

Ad b)

Teorie dle Rankina zanedbává vnitřní tření materiálu i tření po stěnách zásobníku a tudíž uvažuje svislé napětí na vodorovnou plochu jako hydrostatický tlak.

Poznámka:

Výpočet dle 2 uvedených teorií počítám z důvodu jejich porovnání a následného vybrání více vyhovujících parametrů jejich výpočtů.

8.1 VÝPOČET TLAKŮ DLE JANSSENA

Vertikální napětí v komoře zásobníku

$$\sigma_{1J}^{h_v} = \frac{\gamma_S \cdot R_D}{f_2 \cdot k} \cdot \left(1 - e^{\frac{-k \cdot h_v \cdot f_2}{R_D}}\right) = \frac{\rho_S \cdot g \cdot R_D}{f_2 \cdot k} \cdot \left(1 - e^{\frac{-k \cdot h_v \cdot f_2}{R_D}}\right) \quad [2] \quad (8.1)$$

$$\sigma_{1J}^{h_v} = \frac{740 \cdot 9,81 \cdot 0,125}{0,31 \cdot 0,32} \cdot \left(1 - e^{\frac{-0,32 \cdot 0,34 \cdot 0,31}{0,125}}\right)$$

$$\sigma_{1J}^{h_v} = 2164,63 \text{ [Pa]}$$

Horizontální napětí v komoře zásobníku

$$\sigma_{2J}^{h_v} = \sigma_{1J}^{h_v} \cdot k \quad [2] \quad (8.2)$$

$$\sigma_{2J}^{h_v} = 2164,63 \cdot 0,32$$

$$\sigma_{2J}^{h_v} = 689,23 \text{ [Pa]}$$

Vertikální napětí v celém zásobníku, působící do místa výpustného otvoru

$$\sigma_{1J}^{(h_v+h_k)} = \frac{\gamma_S \cdot R_d}{f_2 \cdot k} \cdot \left(1 - e^{\frac{-k \cdot (h_v+h_k) \cdot f_2}{R_d}}\right) = \frac{\rho_S \cdot g \cdot R_d}{f_2 \cdot k} \cdot \left(1 - e^{\frac{-k \cdot (h_v+h_k) \cdot f_2}{R_d}}\right) \quad [2] \quad (8.3)$$

$$\sigma_{1J}^{(h_v+h_k)} = \frac{740 \cdot 9,81 \cdot 0,125}{0,31 \cdot 0,32} \cdot \left(1 - e^{\frac{-0,32 \cdot (0,34+0,38) \cdot 0,31}{0,04}}\right)$$

$$\sigma_{1J}^{(h_v+h_k)} = 2337,96 \text{ [Pa]}$$

Horizontální napětí v celém zásobníku

$$\sigma_{2J}^{(h_v+h_k)} = \sigma_{1J}^{(h_v+h_k)} \cdot k \quad [2] \quad (8.4)$$

$$\sigma_{2J}^{(h_v+h_k)} = 2337,96 \cdot 0,32$$

$$\sigma_{2J}^{(h_v+h_k)} = 744,42 \text{ [Pa]}$$

8.2 VÝPOČET TLAKŮ DLE RANKINA

Vertikální napětí v komoře zásobníku

$$\sigma_{1R}^{h_v} = \gamma_S \cdot h_v = \rho_S \cdot g \cdot h_v \quad [2] \quad (8.5)$$

$$\sigma_{1R}^{h_v} = 740 \cdot 9,81 \cdot 0,34$$

$$\sigma_{1R}^{h_v} = \mathbf{2468,2 \text{ [Pa]}}$$

Horizontální napětí v komoře zásobníku

$$\sigma_{2R}^{h_v} = \gamma_S \cdot h_v \cdot k = \sigma_{1R}^{h_v} \cdot k \quad [2] \quad (8.6)$$

$$\sigma_{2R}^{h_v} = 2468,2 \cdot 0,32$$

$$\sigma_{2R}^{h_v} = \mathbf{785,89 \text{ [Pa]}}$$

Vertikální napětí v celém zásobníku, působící do místa výpustného otvoru

$$\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)} = \gamma_S \cdot (h_v + h_k) = \rho_S \cdot g \cdot (h_v + h_k) \quad [2] \quad (8.7)$$

$$\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)} = 740 \cdot 9,81 \cdot (0,34 + 0,38)$$

$$\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)} = \mathbf{5190,47 \text{ [Pa]}}$$

Horizontální napětí v celém zásobníku

$$\sigma_{2R}^{(h_v+h_k)} = \sigma_{1R}^{(h_v+h_k)} \cdot k \quad [2] \quad (8.8)$$

$$\sigma_{2R}^{(h_v+h_k)} = 5190,47 \cdot 0,32$$

$$\sigma_{2R}^{(h_v+h_k)} = \mathbf{1652,69 \text{ [Pa]}}$$

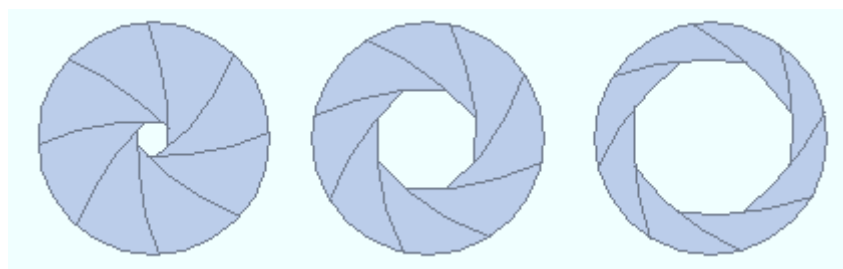
Poznámka:

Je na první pohled patrné, že výsledky teorie dle Rankina jsou více jak dvojnásobné oproti teorii dle Janssena, zejména pak u hodnot vertikálních napětí v celém zásobníku působícího do místa výpustného otvoru ($\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)}$, $\sigma_{1R}^{(h_v+h_k)}$), které jsou nejdůležitějšími hodnotami pro další výpočty.

9 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY ŘEŠENÍ UZÁVĚRU VÝPUSTNÉHO OTVORU

Do této fáze bylo patrné jen to, že se jedná o zásobník kruhového průřezu, tudíž i konstrukční řešení uzávěru výpustného otvoru bude kruhového charakteru.

Jak již kapitola 4 uvádí, je několik druhů uzávěrů výpustných otvorů. Nicméně, dle mého názoru, konstrukční řešení uvedených typů nesplňují stoprocentně požadavek, který byl v úvodu této diplomové práce stanoven. Tudíž, aby materiál, resp. tok materiálu vedl středem výpustného otvoru. Po dlouhém zkoumání možného řešení jsem se dopracoval k teorii, která je založena na principu fotoclony.



Obr. 9.1 Fotoclona [11]

Z výše uvedeného obrázku je patrné, že pokud bych uvažoval fotoclonu jako uzávěr výpustného otvoru, tok materiálu by vedl středem, byla by dodržena symetrie a tudíž by byl splněn požadavek, který ostatní uzávěry ne zcela splňují.

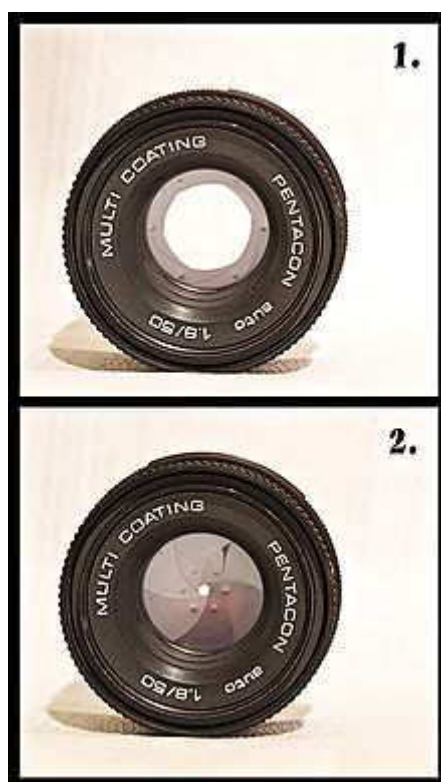
Pokud bych teorii fotoclony, resp. tak jak je fotoclona a její funkce charakterizována, integroval do problematiky mé diplomové práce, tedy do problematiky uzávěru výpustného otvoru, zněla by tato teorie asi takto:

„Množství materiálu, které projde výpustným otvorem lze řídit uzávěrem – kruhovým otvorem ve středu výpustného otvoru. Předpokladem je, že čím větší je průměr uzávěru, tím více materiálu projde výpustným otvorem a celé zařízení je tak schopno plynule regulovat množství proudícího materiálu“.



Obr. 9.2 Fotoclona s regulovatelným rozměrem otvoru [12]

Pokud upustíme od schematického znázornění fotoclony, vypadá tato část fotoaparátu následovně



Obr. 9.3 Fotoclona v reálném provedení [13]

9.1 NÁVRH ELEMENTŮ

Po zvolení varianty založené na principu fotoclony, jsem musel zjistit, jak jednotlivé díly clony vypadají a jak celá fotoclona funguje. Tudíž jsem začal řešit tvar elementů, které právě funkci plynule regulovatelného uzávěru výpustného otvoru plní.

Po mnoha konstrukčních pokusech jsem dospěl k tvaru elementu, který plně zakryje výpustný otvor v uzavřeném stavu.



Obr. 9.4 Tvar elementu [16]

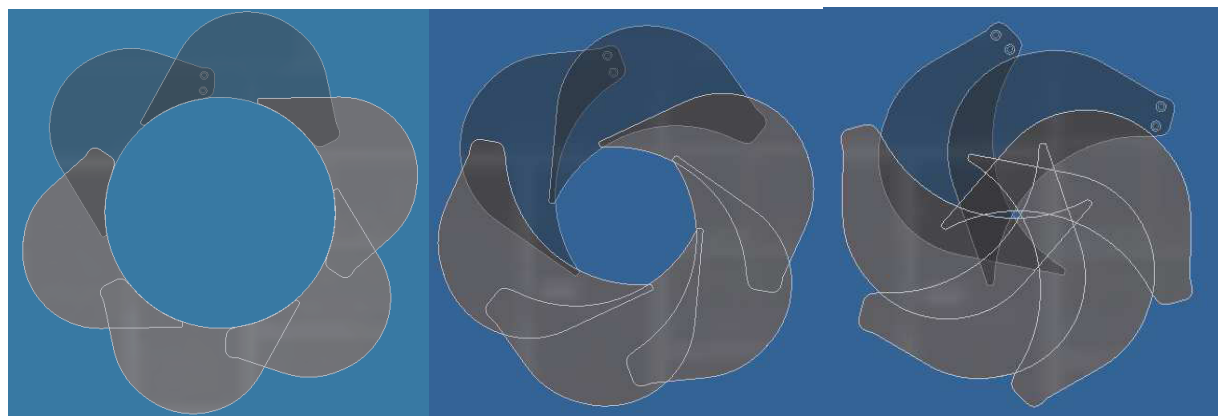
Dalším problémem, který se týkal samotných elementů byl jejich materiál. Po nastudování problematiky jsem zjistil několik možných variant a to:

- Hliníkové slitiny – malá hmotnost, avšak nízká pevnost
- Kompozitní materiály – podobné jako hliníkové slitiny (výztužná vlákna + pojiva), tudíž s vyšší pevností

Z vyšších cenových relací:

- Scandium – výrazně lehký kov, vyšší pevnost
- Titanové slitiny – malá hmotnost, vysoká pevnost

Avšak z hlediska ekonomického a konstrukčního jsem zvolil variantu ocelového plechu s povrchovou úpravou – nerez.



a)

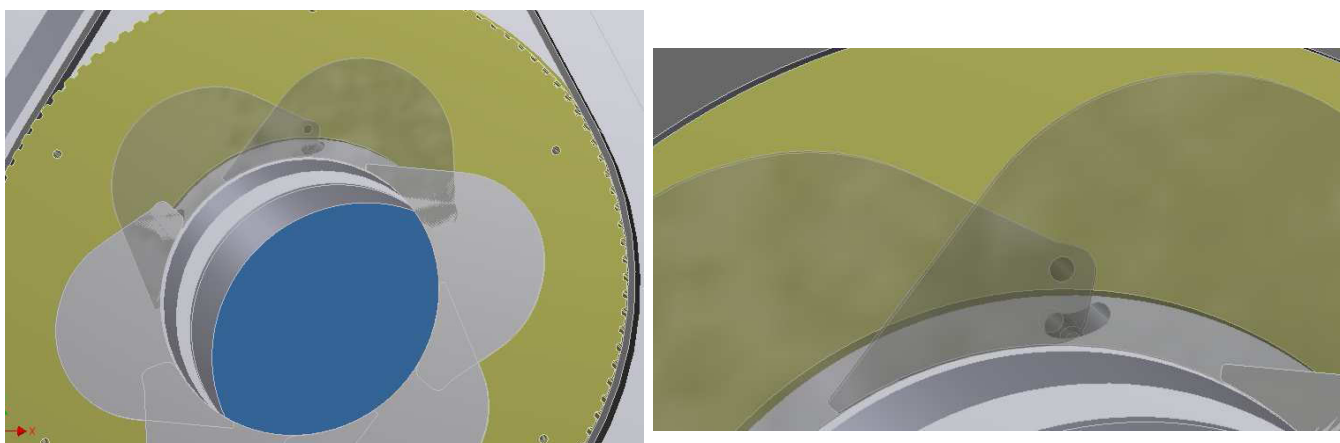
b)

c)

Obr. 9.5 Sestava elementů [16]

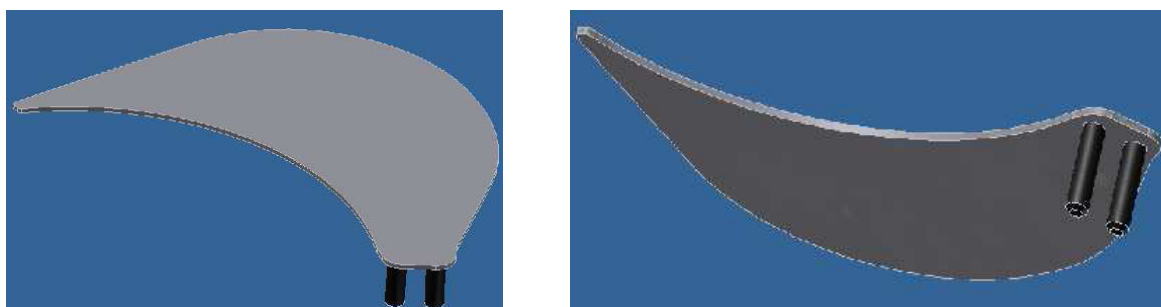
a) 100 % otevření, b) 50 % otevření, c) plně uzavřený výpustný otvor

Z počtu a sestavy elementů jsem vycházel opět z teorie fotoclony a to tak že, elementů bude celkem 6 a budou se pohybovat po sobě.



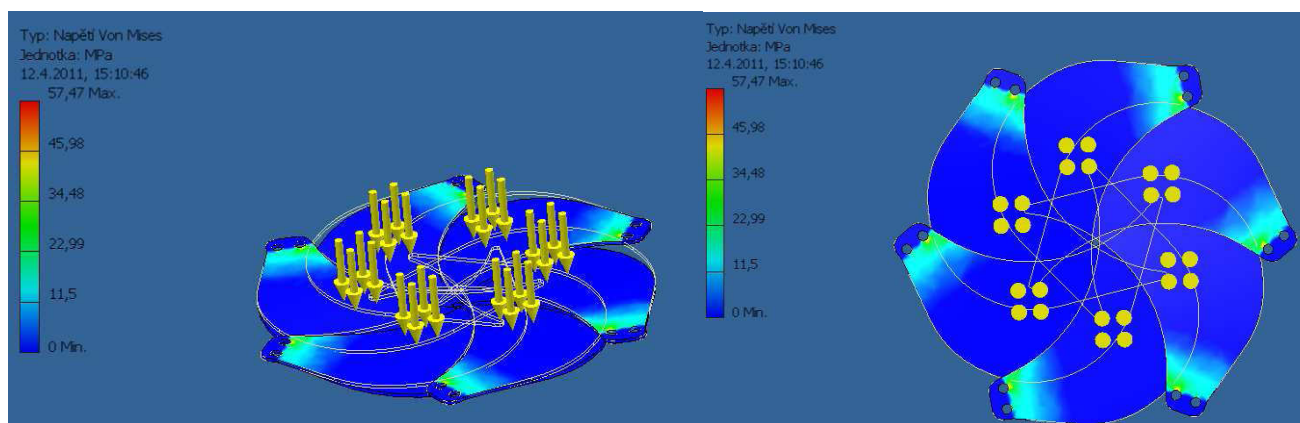
Obr. 9.6 Znáznornění způsobu pohybu elementů [16]

Jejich pohyb bude realizován tak (viz Obr. 9.6), že elementy budou uchyceny na dva kroužky pomocí čepů, které jsou součástí každého elementu (viz Obr. 9.7) z čehož jeden z kroužků bude představovat ozubenou řemenici (více viz kapitola 11.2). V té bude jeden z čepů pevný a v druhém kroužku s kruhovou drážkou bude druhý čep opisovat její tvar a tím bude docházet k pohybu elementů a tedy k uzavírání či otevírání výpustného otvoru.



Obr. 9.7 Model elementu s čepy [16]

Co se týče tloušťky jednotlivých elementů, je dle mého názoru dostačující a po úplném zavření se jejich pevnost ještě zvýší tím, že se posouvají po sobě a v uzavřeném stavu se budou navzájem podpírat. Nejedná se o velké tlaky a síly, tudíž si myslím, že elementy dokážou uvedené množství mouky v zásobníku udržet bez jakýkoliv poruch či deformací. Materiál elementů má navíc určitou pružnost a při namodelování zatížení (viz Obr. 9.8) dojde jen k nepatrnému vychýlení cca. 2 [mm], což na funkci nemá výraznější vliv.



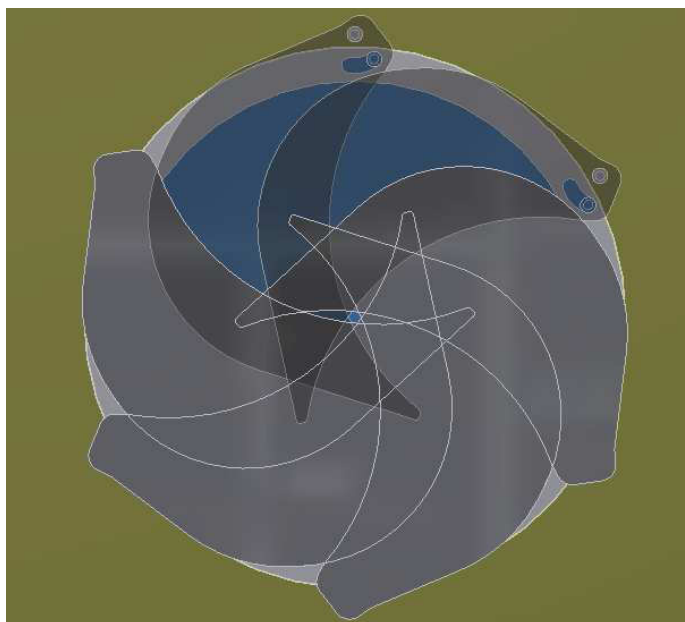
Obr. 9.8 Zatížení elementů tlakem v 3D modelovacím programu Autodesk Inventor [16]

9.2 UTĚSNĚNÍ ELEMENTŮ UZÁVĚRU

Jak už bylo řečeno v kapitole 9.1 elementy se budou pohybovat přes sebe a je zde tedy velmi důležité zajistit, aby se mouka nedostávala mezi plochy elementů a nedocházelo tak ke zvyšování tření a tím ke vzniku možných poruch.

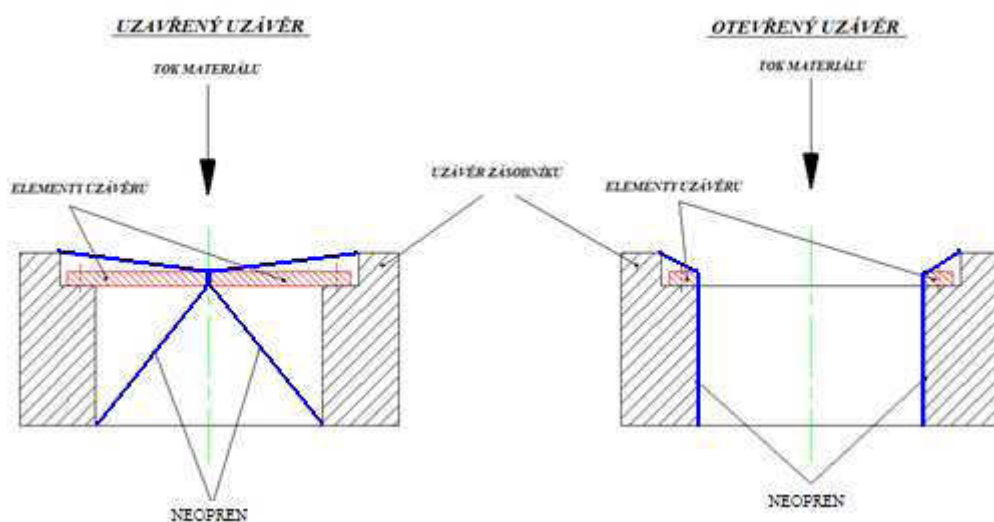
„Jediným“ řešením, ke kterému jsem došel, je zamezení přímého kontaktu elementů uzávěru s moukou a to pomocí materiálu, který nepropustí i ty nejjemnější zrnka mouky. Nejprve jsem uvažoval nad textilií, avšak vzhledem k určitému procentu zrnitosti mouky, jsem nenašel textilií s tak malou okatostí. Proto jsem zvolil materiál neprodyšný a to ve formě neoprenu. Neopren je materiál, který je hladký, bez okatosti a voděodolný. Je vhodný ke kontaktu s materiálem potravinářského průmyslu, tedy i s moukou. Bude tedy jediným nositelem kontaktu s moukou v zařízení uzávěru výpustného otvoru. Tento materiál bude, dle požadovaných rozměrů, vyroben na zakázku a to formou sešití do kruhového průřezu. Velkou důležitost zde hrají důkladné švy a obšití kolem uchycovacích ok, aby byla zvýšena pevnost jeho uchycení na konstrukci zařízení.

Takto navržený materiál bude uchycen na uzávěru krytu zařízení a to jak nad úrovní elementů, tak i pod ní. Tímto bude zamezen přímý kontakt mouky s elementy a tím také znemožněno nežádoucí zanášení ploch elementů.

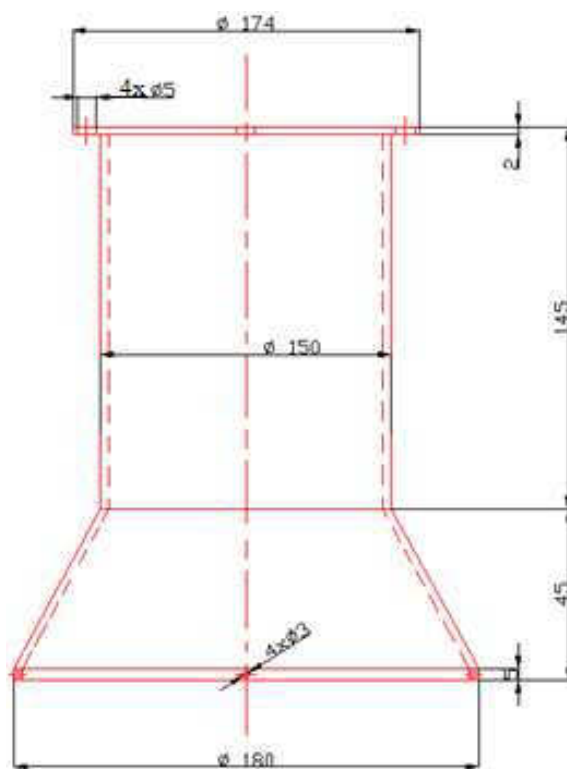


Obr. 9.9 Model uzavřeného výpustného otvoru [16]

Z předchozího obrázku (Obr. 9.9) je patrné, že i při plně uzavřeném výpustném otvoru, z hlediska elementů, je ponechán menší otvor. Důvodem ponechání menšího otvoru při plně uzavřeném výpustném otvoru je realizace již zmíněného materiálu zabraňujícímu přímému kontaktu elementů uzávěru se skladovaným materiálem, tedy moukou. Tento materiál bude mít tloušťku stěny 2 [mm]. Tedy při vyplnění menšího otvoru těsnícím materiálem, kterým byl zvolen neopren, bude výpustný otvor zcela uzavřen.



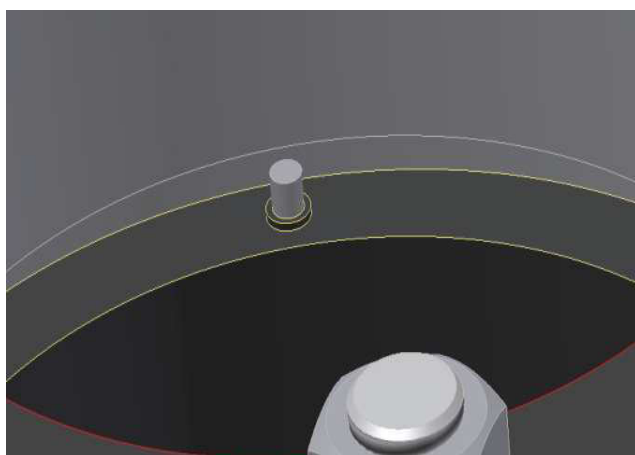
Obr. 9.10 Schematicky zobrazena funkce neoprenu [16]



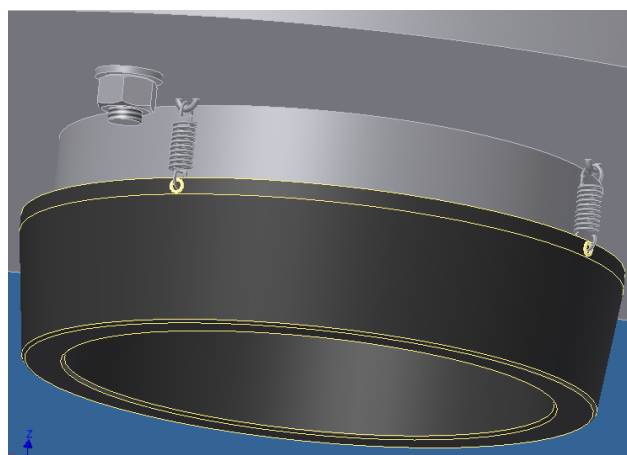
Obr. 9.11 Požadované rozměry a tvar sešitého neoprenu [16]



Obr. 9.12 Model neoprenu [16]



a)



b)

Obr. 9.13 Model uchycení neoprenu ke krytu zařízení [16]

a) uchycení k víku krytu – horní uchycení (zavěšení na čepy)

b) uchycení ke spodní části krytu pomocí pružin – spodní uchycení

Uchycení spodní části je provedeno pomocí pružin, kdy při zavírání bude mít neopren tendenci se stahovat do prostoru výpustného otvoru. Proto, aby se při otevření vrátil do původní polohy, je zde použit princip tažných pružin.

Poznámka:

Samozřejmě je možné pomocí přidavných zařízení a povrchovou úpravou elementů docílit minimalizace kontaktu se skladovaným materiálem, avšak je to finančně náročné a technologicky složitější, oproti výše uvedenému návrhu řešení.

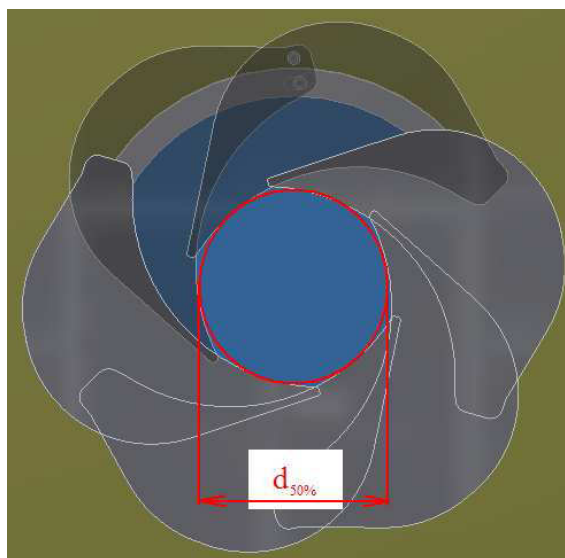
9.3 VÝPOČTY PLOCH ELEMENTŮ ZAUJÍMAJÍCÍ VÝPUSTNÝ OTVOR PŘI JEDNOTLIVÝCH PROCENTUÁLNÍCH STAVECH OTEVŘENÍ VÝPUSTNÉHO OTVORU

Pro realizaci modelu bylo nutné stanovit několik poloh elementů uzávěru, při jeho pohybu (otevřeno – uzavřeno) z důvodu stanovení ploch elementů zaujímající prostor výpustného otvoru a sil, které na tyto elementy při určitém pootevření působí. Pro přehlednost jsem stanovil, že plně otevřený výpustný otvor představuje 100 [%] a plně uzavřený 0 [%].

Stav výpustného otvoru	
100%	otevřeno
90%	
80%	
70%	
60%	
50%	
40%	
30%	
20%	
10%	
0%	uzavřeno

Tabulka 9.1 Stanovení procentuálního pootevření výpustného otvoru [16]

Při takto stanoveném pravidlu jsem si při každé procentuální hodnotě odměřil, z již vytvořeného modelu, hodnotu průměru výpustného otvoru. Tento způsob není 100 % přesný, avšak je zde povolena určitá tolerance. Nepřesnost je zapříčiněna nedokonalým kruhovým tvarem výpustného otvoru, který je závislý na počtu elementů. V případě dokonalého tvaru výpustného otvoru by muselo být zvoleno nekonečně mnoho elementů.



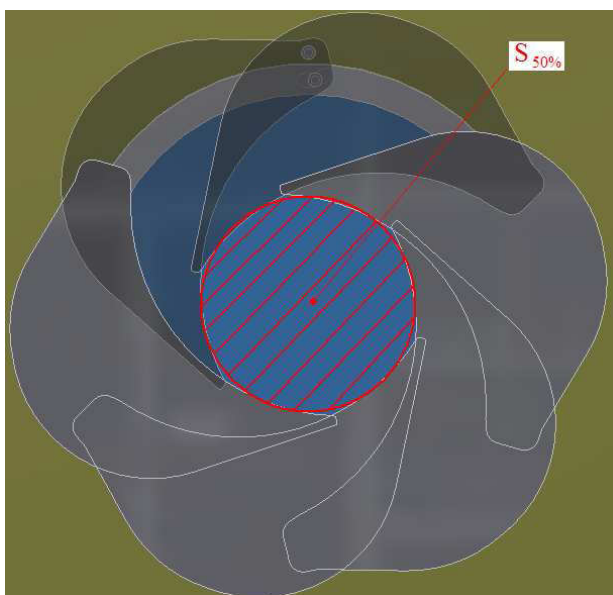
Obr. 9.14 Průměr výpustného otvoru při 50 % pootevření [16]

Průměry výp. otvoru při jednotlivých stavech pootevření		
$d_{100\%}$	150	[mm]
$d_{90\%}$	135	[mm]
$d_{80\%}$	120	[mm]
$d_{70\%}$	105	[mm]
$d_{60\%}$	90	[mm]
$d_{50\%}$	75	[mm]
$d_{40\%}$	60	[mm]
$d_{30\%}$	45	[mm]
$d_{20\%}$	30	[mm]
$d_{10\%}$	15	[mm]
$d_{0\%}$	0	[mm]

Tabulka 9.2 Průměry výpustného otvoru dle procentuálního pootevření [16]

Na základě změřených průměrů jsem vypočítal (dle známého vzorce) jejich plochy, zaujímající výpustný otvor.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ [mm]} \quad [6] \quad (9.1)$$

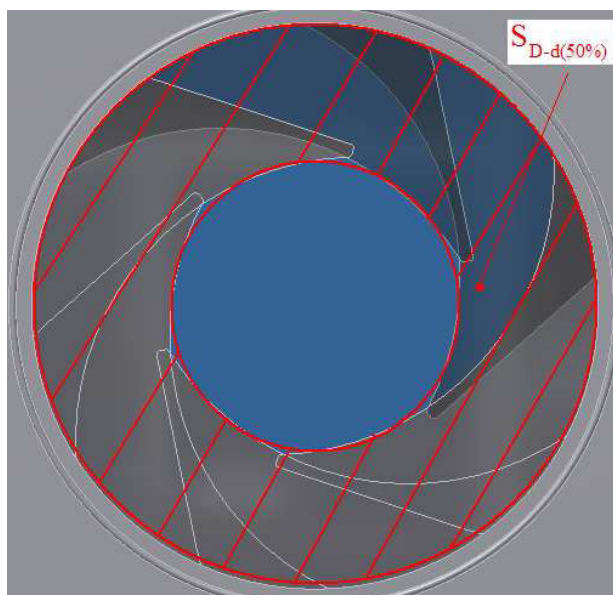


Obr. 9.15 Plocha výpustného otvoru při 50% pootevření [16]

$S_{100\%}$	17662,50	[mm ²]
$S_{90\%}$	14306,63	[mm ²]
$S_{80\%}$	11304,00	[mm ²]
$S_{70\%}$	8654,63	[mm ²]
$S_{60\%}$	6358,50	[mm ²]
$S_{50\%}$	4415,63	[mm ²]
$S_{40\%}$	2826,00	[mm ²]
$S_{30\%}$	1589,63	[mm ²]
$S_{20\%}$	706,50	[mm ²]
$S_{10\%}$	176,63	[mm ²]
$S_{0\%}$	0,00	[mm ²]

Tabulka 9.3 Plochy průměrů (viz Tabulka 9.2) [16]

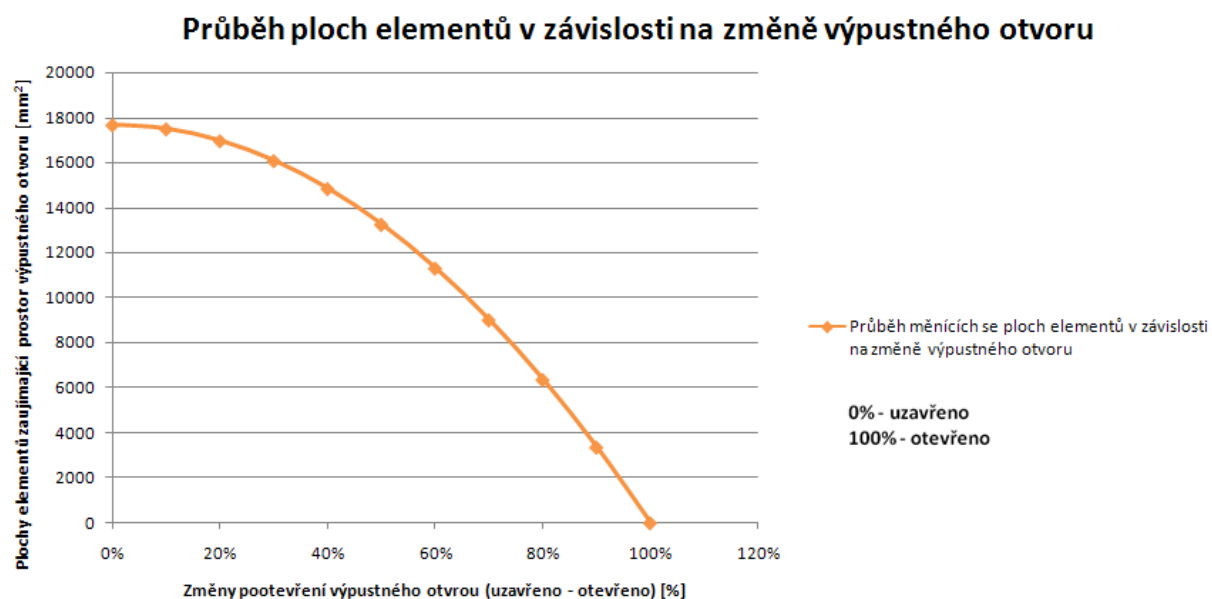
Poté byly vypočteny (viz vzorec 9.1) plochy elementů zaujímající výpustný otvor při procentuálním pootevření.



Obr. 9.16 Plochy elementů při 50% pootevření [16]

$S_{D-d(100\%)}$	0,00	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(90\%)}$	3355,88	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(80\%)}$	6358,50	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(70\%)}$	9007,88	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(60\%)}$	11304,00	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(50\%)}$	13246,88	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(40\%)}$	14836,50	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(30\%)}$	16072,88	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(20\%)}$	16956,00	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(10\%)}$	17485,88	$[\text{mm}^2]$
$S_{D-d(0\%)}$	17662,50	$[\text{mm}^2]$

Tabulka 9.4 Plochy elementů zabírající výpustný otvor dle pravidel (viz Tabulka 9.1) [16]



Graf 9.1 Průběh ploch elementů dle hodnot z Tabulky 9.4 [16]

Dle ploch elementů zabírající výpustný otvor při procentuálním pootevření a již známých (vypočtených) hodnot vertikálního napětí v celém zásobníku (Janssen, Rankin) jsem dále vypočítal síly působící na tyto plochy.

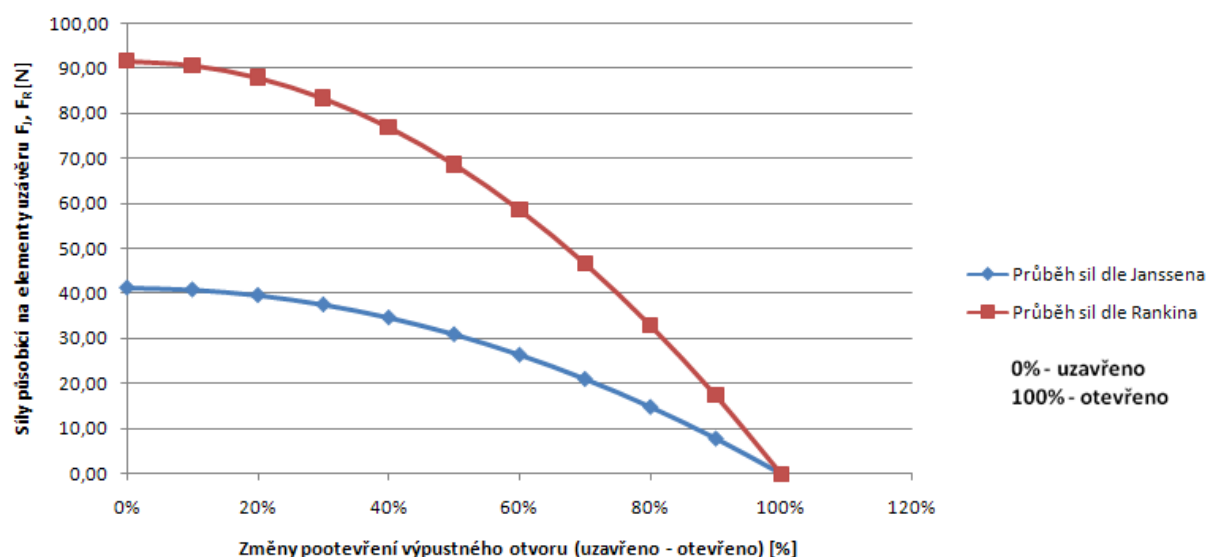
$$F_J = \sigma_{1J}^{(h_v+h_k)} \cdot S_{D-d} \text{ [N]} \quad [2] \quad (9.2)$$

$$F_R = \sigma_{1R}^{(h_v+h_k)} \cdot S_{D-d} \text{ [N]} \quad [2] \quad (9.3)$$

Síly působící na plochy elementů při jednotlivých stavech pootevření výp. otvoru, dle Janssena F_J a Rankina F_R						
$F_{J100\%}$	0,00	[N]		$F_{R100\%}$	0,00	[N]
$F_{J90\%}$	7,85	[N]		$F_{R90\%}$	17,42	[N]
$F_{J80\%}$	14,87	[N]		$F_{R80\%}$	33,00	[N]
$F_{J70\%}$	21,06	[N]		$F_{R70\%}$	46,76	[N]
$F_{J60\%}$	26,43	[N]		$F_{R60\%}$	58,67	[N]
$F_{J50\%}$	30,97	[N]		$F_{R50\%}$	68,76	[N]
$F_{J40\%}$	34,69	[N]		$F_{R40\%}$	77,01	[N]
$F_{J30\%}$	37,58	[N]		$F_{R30\%}$	83,43	[N]
$F_{J20\%}$	39,64	[N]		$F_{R20\%}$	88,01	[N]
$F_{J10\%}$	40,88	[N]		$F_{R10\%}$	90,76	[N]
$F_{J0\%}$	41,29	[N]		$F_{R0\%}$	91,68	[N]

Tabulka 9.5 Síly (Janssen, Rankin) působící na plochy elementů dle pravidel (viz Tabulka 9.1) [16]

Průběh sil působících na elementy v závislosti na změně výpustného otvoru



Graf 9.2 Průběh sil působících na elementy dle hodnot z Tabulky 9.5 [16]

Nyní, dle již známých potřebných parametrů, jsem stanovil plochy jednotlivých elementů zabírající výpustný otvor a dále také síly působící na každý element zvlášť a to při stanovených procentuálních pootevření.

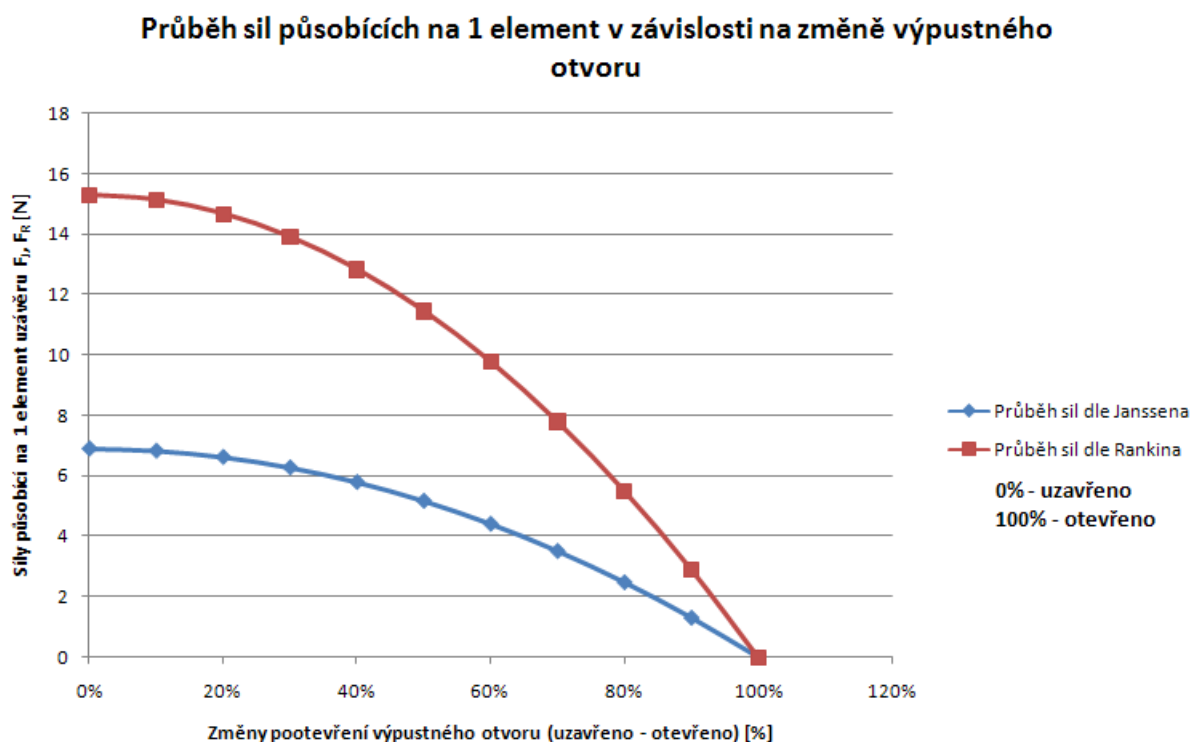
$$S = \frac{S_{D-d}}{n} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (9.4)$$

kde $n = 6$ [-] – počet elementů

$$F_j = \sigma_{1j}^{(h_v+h_k)} \cdot (S \cdot 10^{-6}) [\text{N}] \quad [2] \quad (9.5)$$

Plocha 1 elementu zabírající výp. otvor při jednotlivých stavech pootevření [%] a tomu odpovídající síla působící na tuto plochu (dle Jansseny a Rankina)								
$S_{1(100\%)}$	0,00	[mm ²]	$F_{1 J(100\%)}$	0,00	[N]	$F_{1 R(100\%)}$	0,00	[N]
$S_{2(90\%)}$	559,31	[mm ²]	$F_{2 J(90\%)}$	1,31	[N]	$F_{2 R(90\%)}$	2,90	[N]
$S_{3(80\%)}$	1059,75	[mm ²]	$F_{3 J(80\%)}$	2,48	[N]	$F_{3 R(80\%)}$	5,50	[N]
$S_{4(70\%)}$	1501,31	[mm ²]	$F_{4 J(70\%)}$	3,51	[N]	$F_{4 R(70\%)}$	7,79	[N]
$S_{5(60\%)}$	1884,00	[mm ²]	$F_{5 J(60\%)}$	4,40	[N]	$F_{5 R(60\%)}$	9,78	[N]
$S_{6(50\%)}$	2207,81	[mm ²]	$F_{6 J(50\%)}$	5,16	[N]	$F_{6 R(50\%)}$	11,46	[N]
$S_{7(40\%)}$	2472,75	[mm ²]	$F_{7 J(40\%)}$	5,78	[N]	$F_{7 R(40\%)}$	12,83	[N]
$S_{8(30\%)}$	2678,81	[mm ²]	$F_{8 J(30\%)}$	6,26	[N]	$F_{8 R(30\%)}$	13,90	[N]
$S_{9(20\%)}$	2826,00	[mm ²]	$F_{9 J(20\%)}$	6,61	[N]	$F_{9 R(20\%)}$	14,67	[N]
$S_{10(10\%)}$	2914,31	[mm ²]	$F_{10 J(10\%)}$	6,81	[N]	$F_{10 R(10\%)}$	15,13	[N]
$S_{11(0\%)}$	2943,75	[mm ²]	$F_{11 J(0\%)}$	6,88	[N]	$F_{11 R(0\%)}$	15,28	[N]

Tabulka 9.6 Plochy a síly jednotlivých elementů dle pravidel (viz Tabulka 9.1) [16]



Graf 9.3 Průběh sil působících na jednotlivé elementy [16]

Poznámka:

Poslední dvě hodnoty sil, které jsou v Tabulce 9.6 zvýrazněny ($F_{11J(0\%)}$, $F_{11R(0\%)}$), jsou hodnoty potřebné k dalším výpočtům. Jedná se o mezní stav, kdy síly, působící na každý element zvlášť při úplném zavření výpustného otvoru, budou největší.

10 VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY

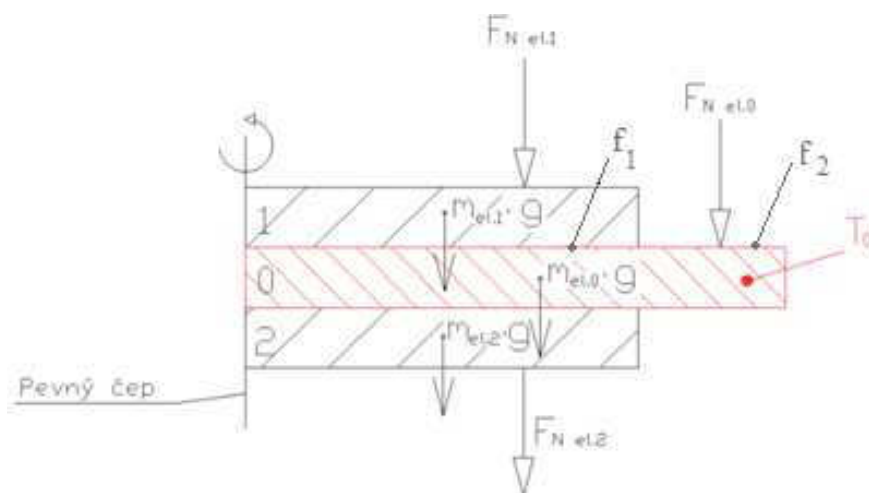
Jedná se o výpočet obvodové síly působící na elementy, která je potřebná k jejich rozpohybování. Tento výpočet jsem nazval „Teorie nultého elementu“.

Tvar elementu



Obr. 10.1 Navržený tvar elementu [16]

10.1 VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY DLE JANSSENA



Obr. 10.2 Působící síly na elementy uzávěru – teorie nultého elementu [16]

Souhrn všech působících sil, hmotností a součinitelů na element

$$T'_{0j} = (F_{Nel.1} + m_{el.1} \cdot g) \cdot f_1 + F_{Nel.0} \cdot f_2 + (F_{Nel.1} + F_{Nel.0}) \cdot f_1 + (m_{el.1} \cdot g + m_{el.0} \cdot g) \cdot f_1 \quad (10.1)$$

$$T'_{0j} = (6,88 + 0,04 \cdot 9,81) \cdot 0,1 + 6,88 \cdot 0,31 + (6,88 + 6,88) \cdot 0,1 + (0,04 \cdot 9,81 + 0,04 \cdot 9,81) \cdot 0,1$$

$$T'_{0j} = 4,31 \text{ [N]}$$

kde $F_{Nel.0} = F_{11 J(0\%)} -$ síla působící na element 0 [N]

$$F_{Nel.0} = F_{11 J(0\%)} = 6,88 \text{ [N]}$$

$m_{el.0}$ – hmotnost elementu 0 [kg]

$$m_{el.0} = 0,04 \text{ [kg]}$$

$F_{Nel.1} = F_{11 J(0\%)} -$ síla působící na element 1 [N]

$$F_{Nel.1} = F_{11 J(0\%)} = 6,88 \text{ [N]}$$

$m_{el.1}$ – hmotnost elementu 1 [kg]

$$m_{el.1} = 0,04 \text{ [kg]}$$

$F_{Nel.2} = F_{11 J(0\%)} -$ síla působící na element 2 [N]

$$F_{Nel.2} = F_{11 J(0\%)} = 6,88 \text{ [N]}$$

$m_{el.2}$ – hmotnost elementu 2 [kg]

$$m_{el.2} = 0,04 \text{ [kg]}$$

f_1 - součinitel tření mezi materiály elementů (ocel – ocel) [-]

$$f_1 = 0,1 \text{ [-]} - \text{ zvoleno } [13]$$

f_2 - součinitel tření mezi moukou a nerezovým plechem (změřeno v laboratoři) [-]

$$f_2 = 0,31 \text{ [-]}$$

Výpočet se zahrnutým čepovým třením

$$T_{0j} = T'_0 \cdot \mu_{\check{c}} \quad [4] \quad (10.2)$$

$$T_{0j} = 4,31 \cdot 0,1$$

$$T_{0j} = 0,43 \text{ [N]}$$

kde $\mu_{\check{c}}$ - součinitel čepového tření

$$\mu_{\check{c}} = f_1 = 0,1 \text{ [-]} \quad [13]$$

Celková obvodová síla, působící na všechny elementy

$$T_{0CJ} = T_0 \cdot n \quad (10.3)$$

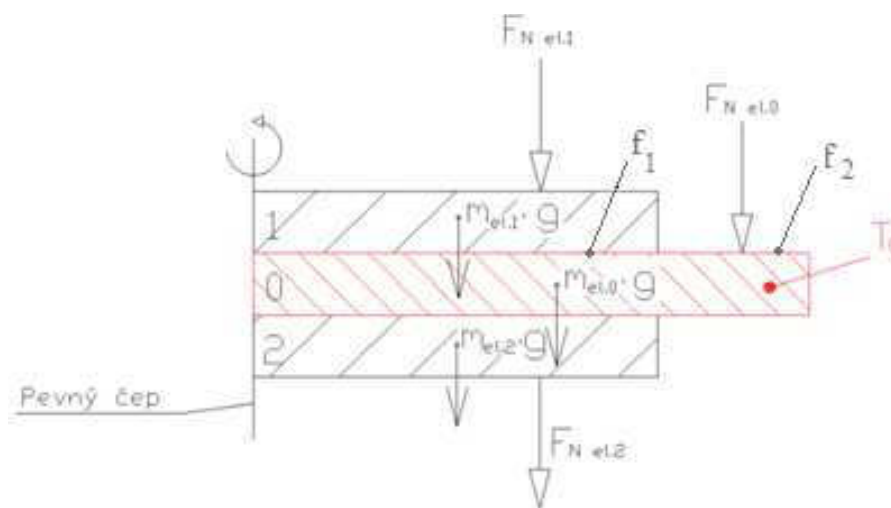
$$T_{0CJ} = 0,43 \cdot 6$$

$$T_{0CJ} = 2,59 \text{ [N]}$$

kde n – počet elementů uzávěru výpustného otvoru [-]

$$n = 6 \text{ [-]}$$

10.2 VÝPOČET OBVODOVÉ SÍLY DLE RANKINA



Obr. 10.3 Působící síly na elementy uzávěru – teorie nultého elementu [16]

Souhrn všech působících sil, hmotností a součinitelů na element

$$T'_{0R} = (F_{Nel.1} + m_{el.1} \cdot g) \cdot f_1 + F_{Nel.0} \cdot f_2 + (F_{Nel.1} + F_{Nel.0}) \cdot f_1 + (m_{el.1} \cdot g + m_{el.0} \cdot g) \cdot f_1 \quad (10.4)$$

$$T'_{0R} = (15,28 + 0,04 \cdot 9,81) \cdot 0,1 + 15,28 \cdot 0,31 + (15,28 + 15,28) \cdot 0,1 + (0,04 \cdot 9,81 + 0,04 \cdot 9,81) \cdot 0,1$$

$$T'_{0R} = 9,44 \text{ [N]}$$

kde $F_{Nel.0} = F_{11 R(0\%)} - \text{síla působící na element 0 [N]}$

$$F_{Nel.0} = F_{11 R(0\%)} = 15,28 \text{ [N]}$$

$m_{el.0}$ – hmotnost elementu 0 [kg]

$$m_{el.0} = 0,04 \text{ [kg]}$$

$F_{Nel.1} = F_{11 R(0\%)} - \text{síla působící na element 1 [N]}$

$$F_{Nel.1} = F_{11 R(0\%)} = 15,28 \text{ [N]}$$

$m_{el.1}$ – hmotnost elementu 1 [kg]

$$m_{el.1} = 0,04 \text{ [kg]}$$

$F_{Nel.2} = F_{11 R(0\%)} - \text{síla působící na element 2 [N]}$

$$F_{Nel.2} = F_{11 R(0\%)} = 15,28 \text{ [N]}$$

$m_{el.2}$ – hmotnost elementu 2 [kg]

$$m_{el.2} = 0,04 \text{ [kg]}$$

f_1 - součinitel tření mezi materiály elementů (ocel – ocel) [-]

$$f_1 = 0,1 \text{ [-]} - \text{zvoleno} \quad [13]$$

f_2 - součinitel tření mezi moukou a nerezovým plechem (změřeno v laboratoři) [-]

$$f_2 = 0,31 \text{ [-]}$$

Výpočet se zahrnutým čepovým třením

$$T_{0R} = T_0' \cdot \mu_{\check{c}} \quad [4] \tag{10.5}$$

$$T_{0R} = 9,44 \cdot 0,1$$

$$T_{0R} = 0,94 \text{ [N]}$$

kde $\mu_{\check{c}}$ - součinitel čepového tření

$$\mu_{\check{c}} = f_1 = 0,1 \text{ [-]} \quad [13]$$

Celková obvodová síla, působící na všechny elementy

$$T_{0CR} = T_0 \cdot n \tag{10.6}$$

$$T_{0CR} = 0,94 \cdot 6$$

$$T_{0CR} = 5,66 \text{ [N]}$$

kde n – počet elementů uzávěru výpustného otvoru [-]

$$n = 6 \text{ [-]}$$

Poznámka:

Na základě takto vypočtené obvodové síly (dle Rankina) budu dále navrhovat poháněcí jednotku. Důvodem volby vypočtených parametrů teorie dle Rankina je, že jak už bylo řečeno, v zásobníku bude potřeba umístit provzdušňovací zařízení v prostoru výsyvky a nevím, jak se bude mouka při provzdušňování chovat a zda by se tlaky v zásobníku nezvýšily. Proto volím výpočty vyšších hodnot, které odpovídají teorii dle Rankina.

11 NÁVRH POHONU

Při návrhu typu pohonu jsem přemýšlel, který způsob bude pro mé zařízení nejoptimálnější.

11.1 MOŽNÉ TYPY POHONŮ

- **Dvě řetězová kola – řetěz**

Tuto metodu jsem uvedl, jako jednu z možných, avšak dle mého názoru, není variantou, která by se hodila k dané problematice. Důvodem je hlučný provoz a taktéž nedodržení hygienických zásad z důvodu mazání a častých potřeb údržby.

- **Ozubený věnec – pastorek**

Tato varianta je obdobná jako varianta první, s tím rozdílem, že je vynechán tažný člen, kterým je řetěz. Tudíž se jedná o klasický ozubený převod dvou ozubených kol. Je to jedna z možných variant řešení, avšak opět, dle mého názoru, ne příliš vhodná na tento typ zařízení. Taktéž se jedná o hlučné zařízení s potřebou mazání a častých potřeb údržby.

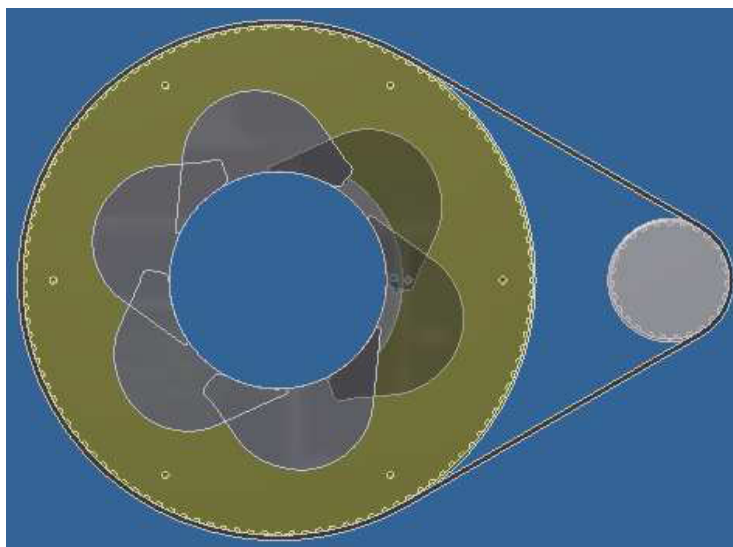
- **Dvě řemenice – řemen**

Jedná se o další možnou variantu řešení, avšak s nižší účinností oproti výše uvedeným variantám. Je zde riziko prokluzu řemene a tím nežádoucí výskyt časových ztrát v provozu a také riziko rozsáhlejších poruch. Nicméně se již dostáváme do oblasti výrazně tiššího chodu zařízení a méně častých potřeb údržby.

11.2 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY POHONU

Výběrem varianty pohonu (viz kapitola 11.1.3) jsme se dostali do oblasti výrazně nižší hlučnosti provozu. Taktéž se jedná o typ pohonu, který je vhodný do oblasti potravinářského průmyslu. Avšak jedinou nevýhodou varianty pohonu dvou řemenic a klasického řemene je účinnost tohoto zařízení a s tím spojené problémy.

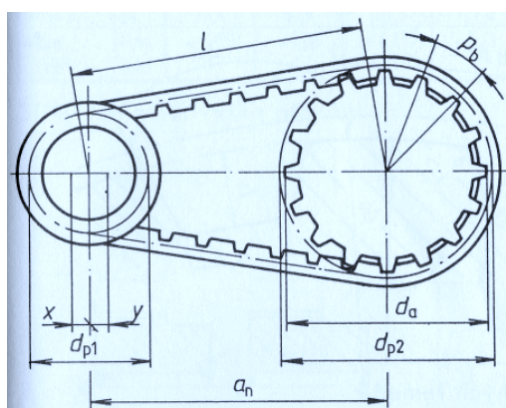
Proto se mi jeví jako nejvhodnější variantou řešení pohonu obdoba varianty předchozí (viz kapitola 11.1.3) a sice **dvě ozubené řemenice – ozubený řemen**. Ozubením jistě zvýším účinnost celého zařízení a vyvaruji se možnému výskytu poruch spojených s prokluzem řemene.



Obr. 11.1 Model pohonu ozubených řemenice s ozubeným řemenem [16]

11.3 VOLBA A VÝPOČET PARAMETRŮ ZVOLENÉ VARIANTY

Na základě vypočtené hodnoty obvodové síly volím parametry zvolené varianty pohonu.

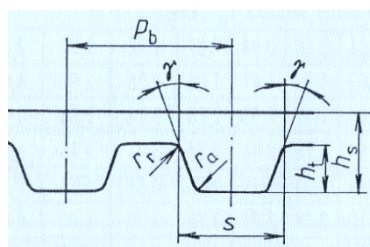


Obr. 11.2 Schéma řemenového převodu [5]

Volím ozubený řemen typu L ($T_{\text{omax}} = 109 \text{ N}$) s označením šířky 050 a těmito parametry:

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Max.obvodová síla	T_{omax}	109	[N]
Šířka řemene	b	12,7	[mm]
Rozteč zubů	p_b	9,525	[mm]
Výška zubu	h_t	1,91	[mm]
Výška řemene	h_s	3,6	[mm]
Šířka zubu	s	4,65	[mm]
Úhel zubu	2γ	40	[°]
Poloměr paty	r_r	0,51	[mm]
Poloměr hlavy	r_a	0,51	[mm]

Tabulka 11.1 Parametry zvoleného řemene [16]

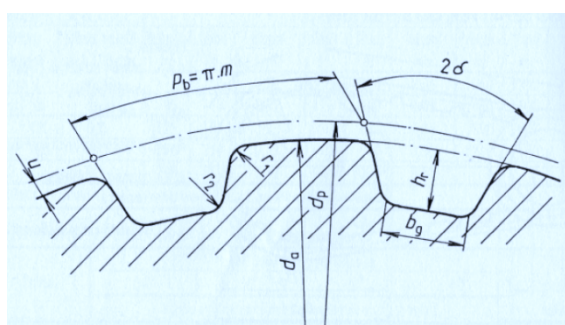


Obr. 11.3 Ozubený řemen [5]

Volím řemenici odpovídající příslušnému typu ozubeného řemene a těmito parametry:

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Rozteč zubů	p_b	9,525	[mm]
Úhel zubu	δ	20	[°]
Výška zubu	h_r	2,13	[mm]
Šířka hlavy zubu	b_g	3,1	[mm]
Poloměr vnějšího zaoblení	r_1	0,86	[mm]
Poloměr vnitřního zaoblení	r_2	0,53	[mm]
	$2u$	0,762	[mm]

Tabulka 11.2 Parametry zvolené řemenice [16]



Obr. 11.4 Ozubená řemenice [5]

Poznámka:

Před samotným výpočtem jsem si předběžně stanovil roztečné průměry ozubených řemenic:

$$d'_p = 80 \text{ [mm]}$$

$$D'_p = 350 \text{ [mm]}$$

Na základě takto předběžně stanovených průměrů jsem vypočítal počty zubů řemenic a zpětně přepočítal jejich skutečné hodnoty.

➤ **Malá řemenice (pastorek)**

Počet zubů

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d'_p}{p_b} \quad [5] \quad (11.1)$$

$$z_1 = \frac{\pi \cdot 80}{9,525}$$

$$z_1 = 26,37 \rightarrow \text{volím 27 zubů}$$

Průměr roztečné kružnice

$$d_p = \frac{z_1 \cdot p_b}{\pi} \quad [5] \quad (11.2)$$

$$d_p = \frac{27 \cdot 9,525}{\pi}$$

$$d_p = 81,90 \text{ [mm]}$$

Průměr hlavové kružnice

$$d_a = d_p - 2 \cdot \varrho \quad [5] \quad (11.3)$$

$$d_a = 81,9 - 0,762$$

$$d_a = 81,14 \text{ [mm]}$$

➤ Velká řemenice

Počet zubů

$$z_2 = \frac{\pi \cdot D'_p}{p_b} \quad [5] \quad (11.4)$$

$$z_2 = \frac{\pi \cdot 350}{9,525}$$

$z_2 = 115,38 \rightarrow$ volím 116 zubů

Průměr roztečné kružnice

$$D_p = \frac{z_2 \cdot p_b}{\pi} \quad [5] \quad (11.5)$$

$$D_p = \frac{116 \cdot 9,525}{\pi}$$

$D_p = 351,88$ [mm]

Průměr hlavové kružnice

$$D_a = D_p - 2 \cdot \varphi \quad [5] \quad (11.6)$$

$$D_a = 351,88 - 0,762$$

$D_a = 351,12$ [mm]

Převodový poměr

$$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{z_2}{z_1} \quad [6] \quad (11.7)$$

$$i = \frac{351,88}{81,9} = \frac{116}{27}$$

$i = 4,3$ [–]

Otáčky velké řemenice

$$t_n = \frac{\alpha'}{\alpha_e} \cdot t \quad (11.8)$$

$$t_n = \frac{360}{48} \cdot 5$$

$$t_n = 37,5 \text{ [s]}$$

kde $\alpha' \dots 2 \cdot \pi \text{ [rad] } [^\circ]$

$\alpha_e \dots$ úhel, o který se posunou elementy od úplného otevření až k úplnému uzavření[°]

$$\alpha_e = 48 [^\circ]$$

$t \dots$ čas, za který bude vykonán proces otevřeno/uzavřeno [s]

$t = 5 \text{ [s]}$ – zvoleno

$$n_{\text{vel.řem.}} = \frac{60}{t_n} \quad (11.9)$$

$$n_{\text{vel.řem.}} = \frac{60}{37,5}$$

$$n_{\text{vel.řem.}} = 1,6 \text{ [ot./min]} = 0,03 \text{ [ot./s]}$$

Otáčky malé řemenice

$$n_{\text{mal.řem.}} = i \cdot n_{\text{vel.řem.}} \quad [6] \quad (11.10)$$

$$n_{\text{mal.řem.}} = 4,3 \cdot 1,6$$

$$n_{\text{mal.řem.}} = 6,88 \text{ [ot./min]} = 0,11 \text{ [ot./s]}$$

➤ Ozubový řemenOsová vzdálenost

$$0,5 \cdot (d_p + D_p) + 15 \leq a \leq 2 \cdot (d_p + D_p) \quad [5] \quad (11.11)$$

$$0,5 \cdot (81,9 + 351,88) + 15 \leq a \leq 2 \cdot (81,9 + 351,88)$$

$$231,89 \leq a \leq 867,56 \text{ [mm]}$$

Poznámka:

Na základě takto stanovených a vypočtených podmínek, volím osovou vzdálenost:

$$a = 270 \text{ [mm]}$$

Délka řemenu

$$L_p = 2 \cdot a + 1,57 \cdot (d_p + D_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 \cdot a} \quad [5] \quad (11.12)$$

$$L_p = 2 \cdot 270 + 1,57 \cdot (81,9 + 351,88) + \frac{(351,88 - 81,9)^2}{4 \cdot 270}$$

$$L_p = 1288,53 \text{ [mm]}$$

Osová vzdálenost přepočtená na základě délky řemene

$$a = K + \sqrt{K^2 - \frac{(D_p - d_p)^2}{8}} \quad [5] \quad (11.13)$$

$$a = 151,66 + \sqrt{151,66^2 - \frac{(351,88 - 81,9)^2}{8}}$$

$$a = 269,50 \approx 270 \text{ [mm]}$$

kde

$$K = \frac{L_p}{4} - 0,393 \cdot (d_p + D_p) \quad [5] \quad (11.14)$$

$$K = \frac{1288,53}{4} - 0,393 \cdot (81,9 + 351,88)$$

$$K = 151,66 \text{ [mm]}$$

Počet zubů řemenu

$$z_{\check{R}} = \frac{L_p}{p_b} \quad (11.15)$$

$$z_{\check{R}} = \frac{1288,53}{9,525}$$

$$z_{\check{R}} = 135,28 \rightarrow \text{volím 136 zubů}$$

Rychlost řemene

$$v = \pi \cdot d_p \cdot n_{\text{mal.řem.}} \quad [6] \quad (11.16)$$

$$v = \pi \cdot 0,0819 \cdot 0,11$$

$$\mathbf{v = 0,029 [m/s]}$$

➤ **Výkon**Poznámka:

Vypočtená hodnota obvodové síly dle metody Rankin vyšla 5,66 [N]. Tato hodnota je pro výpočet výkonu příliš malá, resp. s jejím použitím by výkon vyšel velice malý a proto hodnotu obvodové síly volím na základě zvoleného ozubeného řemenu, jehož max. obvodová síla, kterou dokáže přenést je 109 [N].

$$P = T_0 \cdot v \quad [1] \quad (11.17)$$

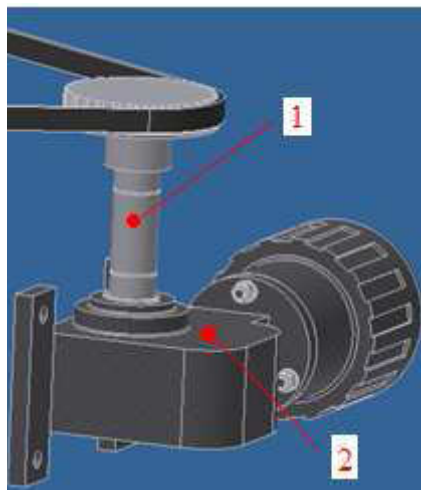
$$P = 109 \cdot 0,029$$

$$\mathbf{P = 3,21 [W]}$$

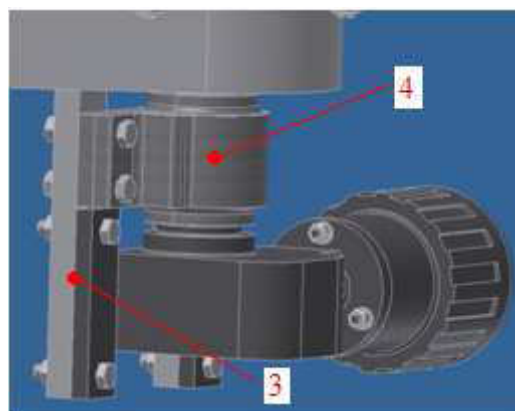
12 VOLBA POHÁNĚCÍ STANICE

Poháněcí stanicí se rozumí elektromotor a části s ním spojené, jako je hnací hřídel, ložisko a spojka. V tomto případě vynechávám volbu spojky, protože hnací hřídel bude zasazen přímo do prostoru elektromotoru a to z důvodu zmenšení rozměrů celého pohonu.

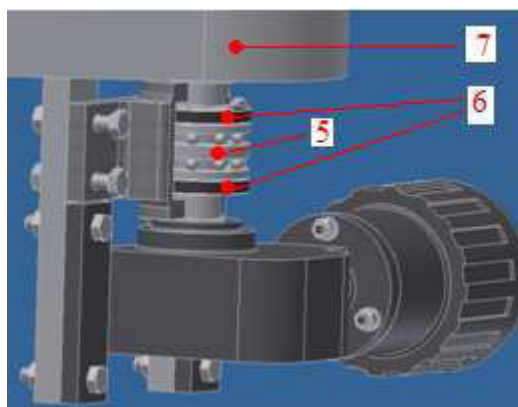
Poháněcí stanice musí být dobře přístupná kvůli možným opravám, revizím apod.



Obr. 12.1 Model poháněcí stanice 1 [16]



Obr. 12.2 Model poháněcí stanice 2 [16]



Obr. 12.3 Model poháněcí stanice 3 [16]

Pozice

1	Hnací hřídel (pastorek)	6	Těsnící kroužky
2	Elektromotor s převodovkou	7	Spodní kryt
3	Upevnění elektromotoru ke spodnímu krytu		
4	Ložiskový domek		
5	Axiální obousměrné dvouřadé kuličkové ložisko		

Proto, aby poháněcí stanice reagovala na mezní stavy otevření či zavření elementů výpustného otvoru, což je eliminováno 48 [°] pootočení elementů od stavu „otevřeno“ do stavu „zavřeno“ je zapotřebí určit metodu, která by poháněcí stanici odeslala v těchto případech signál a tak by nedocházelo k jisté a nežádoucí havárii.

Uvažoval jsem nad dvěma metodami:

- Optická metoda – formou laserů, které by snímali např. bíle označené zuby velké řemenice a po výše uvedeném pootočení elementů (odpovídajícímu počtu zubů) by byl k poháněcí jednotce odeslán signál a došlo by k zastavení. Jedná se o prašné prostředí a proto je, dle mého názoru, tato metoda nevhodná. Mohlo by docházet k narušování laserového paprsku nebo k zanášení snímacích ploch zubů.

- Magnetická metoda – formou zmagnetování ploch zubů buď určitou vrstvou magnetického nátěru nebo přiděláním magnetických destiček na plochy zubů. Proti těmto destičkám, podobně jako u předchozí metody, by byl umístěn magnetický snímač a v případě pootočení elementů o potřebný úhel by opět došlo k odeslání signálu k poháněcí jednotce, která by signál vyhodnotila a zařízení by bylo vypnuto. Tato metoda se mi, vzhledem k prašnému prostředí, jeví jako vhodnější a šetrnější.

Výpočet počtu zubů, odpovídající úhlu pootočení elementů 48 [°]

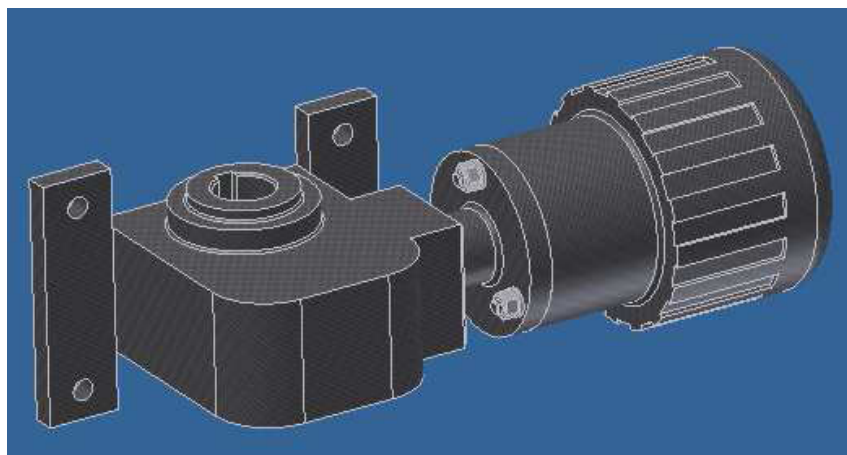
$z_2 = 116 [-]$... počet zubů velké řemenice

$$\begin{array}{rcl}
 116 \text{ zubů} & \dots\dots\dots & 360^\circ \\
 \hline
 x \text{ zubů} & \dots\dots\dots & 48^\circ \\
 \frac{x}{116} = \frac{48^\circ}{360^\circ} \rightarrow x = \frac{48^\circ}{360^\circ} \cdot 116 & & \\
 x = 15,46 \rightarrow 15 [-] & &
 \end{array} \quad (12.1)$$

Z výpočtu je patrné, že úhel pootočení elementů uzávěru výpustného otvoru bude odpovídat pootočení 15 - ti zubů velké řemenice. Umístění snímače, pak konkrétně vytyčí těchto 15 zubů.

12.1 VOLBA ELEKTROMOTORU

Na základě takto vypočteného výkonu volím trojfázový asynchronní převodový motor firmy Flender (D 48M71B6).



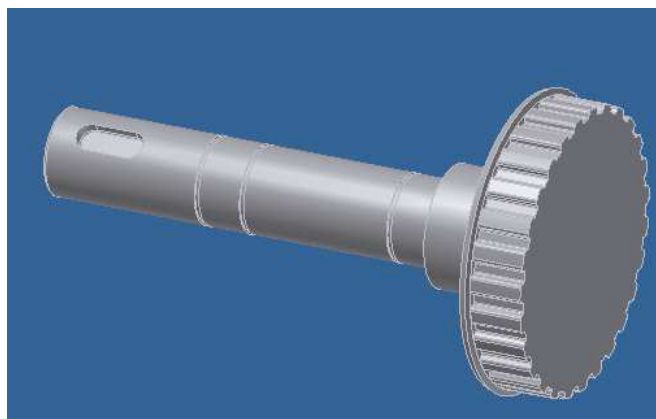
Obr. 12.4 Vymodelovaný motor firmy Flender [16]

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý výkon	P_{zM}	0,09	[kW]
Jmenovité otáčky	n_M	900	$[\text{min}^{-1}]$
Jmenovitý moment	M_M	0,957	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
Účinnost el. motoru	η_M	60	[%]
Moment setrvačnosti	J_M	0,00073	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
Hmotnost	m_M	3,5	[kg]
Převod. poměr převodovky	i_p	170,24	[-]

Tabulka 12.1 Parametry zvoleného motoru [16]

12.2 VOLBA HNACÍHO HŘÍDELE

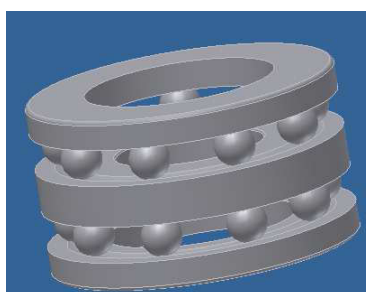
Hřídel je vyroben jako součást zvolené varianty pohonu (ozubené řemenice – ozubený řemen) ve formě pastorku z materiálu 17 042.2 z důvodu odolnosti proti korozi a z důvodu uplatnění v potravinářském průmyslu. Hřídel slouží k přenosu kroutícího momentu z elektromotoru.



Obr. 12.5 Model hnacího hřídele (pastorku) [16]

12.3 VOLBA LOŽISKA

Zvolil jsem axiální obousměrné dvouřadé kuličkové ložisko jehož konstrukce, která je rozebíratelná, se skládá z hřídelového kroužku, dvou tělesových kroužků a dvou klecí s kuličkami. Vzhledem k tomu, že je jejich konstrukce rozebíratelná je jejich montáž jednoduchá a bezproblémová.



Obr. 12.6 Model axiálního obousměrného dvouřadého kuličkového ložiska od firmy SKF [16]

12.4 KONTROLA ELEKTROMOTORU NA ROZBĚH

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Max. obvodová síla (dle řemenu)	T_0	109	[N]
Počet el. motorů	n_e	1	[-]
Účinnost pohánecí stanice (zvoleno)	η_{PS}	0,9	[-]
Roztečný průměr malé řemenice	d_p	0,082	[m]
Ludolfovo číslo	π	3,14	[-]

Tabulka 12.2 Zvolené a vypočtené parametry pro kontrolu el. motoru na rozběh [16]

Výpočet statického momentu od zatížení zařízení redukováný na pohánecí hřídel (pastorek)

$$M_{SM} = \frac{1}{n_e} \cdot T_0 \cdot 0,5 \cdot d_p \cdot \frac{1}{\eta_{PS} \cdot i_p} \quad [4] \quad (12.2)$$

$$M_{SM} = \frac{1}{1} \cdot 109 \cdot 0,5 \cdot 0,082 \cdot \frac{1}{0,9 \cdot 170,24}$$

$$\mathbf{M_{SM} = 0,03 [N \cdot m]}$$

Výpočet dynamického momentu

$$M_{DM} = J_M \cdot \omega \quad [4] \quad (12.3)$$

$$M_{DM} = 0,00073 \cdot 157,08$$

$$\mathbf{M_{DM} = 0,11 [N \cdot m]}$$

kde

ω - úhlová rychlost [rad/s]

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_M}{\eta_M} \quad [4] \quad (12.4)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{900}{60}}{0,6}$$

$$\mathbf{\omega = 157,08 [rad/s]}$$

Výpočet záběrového momentu el. motoru

$$\frac{M_Z}{M_M} = 2 \rightarrow M_Z = 2 \cdot M_M \quad [15] \quad (12.5)$$

$$M_Z = 2 \cdot 0,957$$

$$\mathbf{M_Z = 1,91 \text{ [N} \cdot \mathbf{m}]}$$

Podmínka rozběhu el. motoru

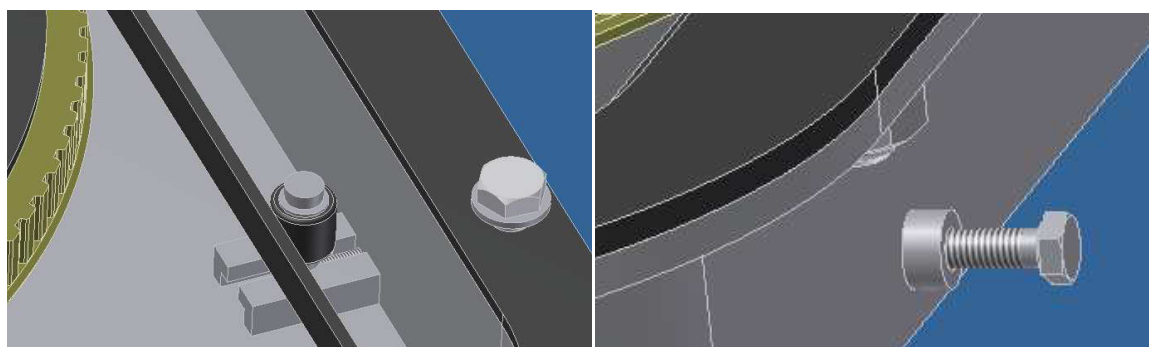
$$M_{SM} + M_{DM} < M_Z \quad (12.6)$$

$$0,03 + 0,11 < 1,91$$

$$\mathbf{0,14 < 1,91 \text{ [N} \cdot \mathbf{m]} \rightarrow \text{podmínka VYHOVUJE!!!}}$$

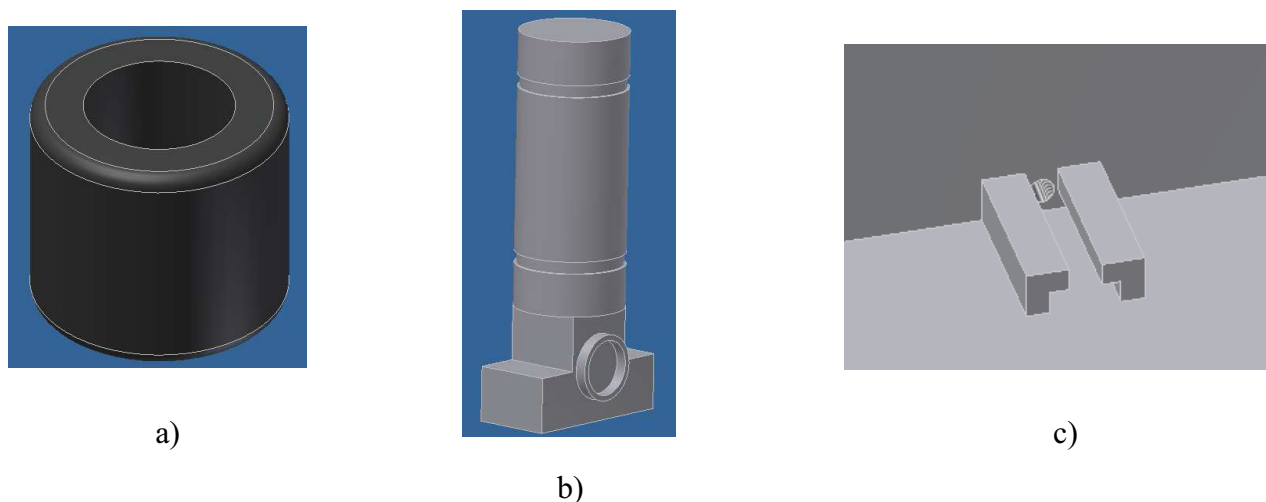
13 NAPÍNACÍ STANICE

Další nedílnou součástí řemenového pohonu je napínací stanice. Je důležitá při možném protažení řemene (pro správnou funkci celého zařízení). Stejně jako poháněcí stanice, musí být dobře přístupná, kvůli bezproblémové manipulaci. Napínání ozubeného řemene je provedeno stavěcím šroubem na boku spodního krytu. Napínací síla je tedy vyvozována stavěcím šroubem, který je samosvorný.



Obr. 13.1 Model napínací stanice [16]

Kromě již zmiňovaného samosvorného šroubu, je dále součástí napínací stanice kladička (viz Obr. 13.2 a), která je tou částí napínací stanice, která přichází do kontaktu s ozubeným řemenem. Kladička je vyrobena z PVC materiálu a je pomocí pojistných kroužků uchycena na ose (viz Obr. 13.2 b), která se pomocí šroubu pohybuje v drážce (viz Obr. 13.2 c), která je součástí spodního svařovaného krytu.



Obr. 13.2 Modely jednotlivých součástí napínací stanice [16]

a) Kladička, b) hřídel kladičky, c) drážka pro hřídel kladičky

14 KONTROLA PERA NA OTLAČENÍ

Tímto výpočtem bude provedena kontrola pera umístěného na hnacím hřídeli.



Obr. 14.1 Hnací hřídel s místem kontroly pera [16]

14.1 PERO - HŘÍDEL

Celkový kroutící moment

$n_{\text{mal.řem.}}$ – otáčky malé řemenice (pastorku)

$$n_{\text{mal.řem.}} = 0,11 \text{ [ot./s]}$$

$$M_K = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{mal. řem.}}} \quad [7] \quad (14.1)$$

$$M_K = \frac{3,21 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 0,11}$$

$$M_K = 4644,43 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

Stanovení zatěžující síly

D' – průměr hřídele

$$D' = 25 \text{ [mm]}$$

t' - hloubka drážky pro pero v hřídeli

$$t' = 4,1 \text{ [mm]}$$

$$F_K = \frac{M_K}{\frac{D' - t'}{2}} \quad [7] \quad (14.2)$$

$$F_K = \frac{4644,43}{\frac{25 - 4,1}{2}}$$

$$F_K = 444,44 \text{ [N]}$$

Výpočet tlakového zatížení spoje

l – délka pera

$$l = 20 \text{ [mm]}$$

t' - hloubka drážky pro pero v hřídeli

$$t' = 4,1 \text{ [mm]}$$

n_p – počet per

$$n_p = 1 \text{ [-]}$$

$$p_h = \frac{F_K}{n_p \cdot (l \cdot t')} \quad [7] \quad (14.3)$$

$$p_h = \frac{444,44}{1 \cdot (20 \cdot 4,1)}$$

$$p_h = 5,42 \text{ [MPa]}$$

Podmínka

p_D - dovolená tlak

$$p_D = 125 \text{ [MPa]}$$

$$p_h \leq p_D$$

$$5,42 < 125 \text{ [MPa]}$$

PODMÍNKA VYHOVUJE!!!

14.2 PERO - NÁBOJ

Stanovení zatěžující síly

M_K - celkový kroutící moment

$$M_K = 4644,43 \text{ [N.mm]}$$

D' – průměr hřídele

$$D' = 25 \text{ [mm]}$$

t_1 - hloubka drážky pro pero v náboji

$$t_1 = 2,9 \text{ [mm]}$$

$$F_n = \frac{M_K}{\frac{D' + t_1}{2}} \quad [7] \quad (14.4)$$

$$F_n = \frac{4644,43}{\frac{25 + 2,9}{2}}$$

$$F_n = 332,93 \text{ [N]}$$

Výpočet tlakového zatížení spoje

l – délka pera

$$l = 20 \text{ [mm]}$$

b' – šířka pera

$$b' = 8 \text{ [mm]}$$

t₁ - hloubka drážky pro pero v náboji

$$t_1 = 2,9 \text{ [mm]}$$

n_p – počet per

$$n_p = 1 \text{ [-]}$$

$$p_h = \frac{F_n}{n_p \cdot (l - b') \cdot t_1} \quad [7] \quad (14.5)$$

$$p_h = \frac{332,93}{1 \cdot (20 - 8) \cdot 2,9}$$

$$p_h = 9,56 \text{ [MPa]}$$

Podmínka

p_D - dovolená tlak

$$p_D = 125 \text{ [MPa]}$$

$$p_h \leq p_D$$

$$9,56 < 125 \text{ [MPa]}$$

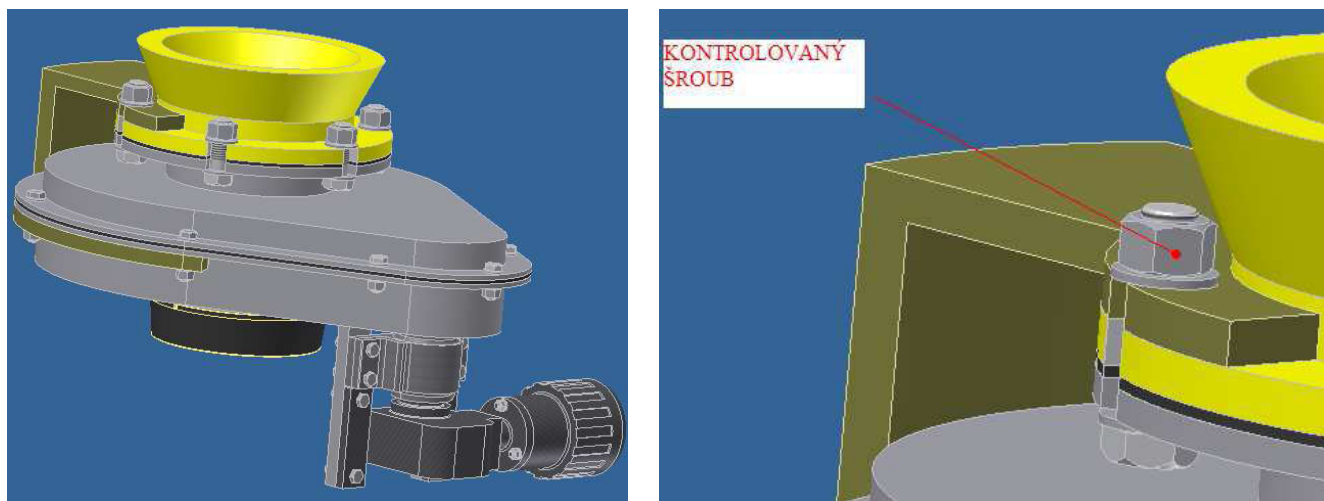
PODMÍNKA VYHOVUJE!!!

Poznámka:

Navržené pero vyhovuje.

15 PEVNOSTNÍ KONTROLA ŠROUBŮ

Pevnostní kontrole jsou v tomto případě podrobeny šrouby, které slouží k uchycení uzávěru výpustného otvoru k přírubě zásobníku. Tyto šrouby jsou zatíženy osovou silou.



Obr. 15.1 Kontrolovaný šroub [16]

Typ šroubu

ISO 4014 - Šroub se šestihrannou hlavou a normálním dříkem M18 – 70:1

Materiál šroubu

11 500

Mez kluzu

$R_e = 245 \text{ [MPa]}$ [6]

Dovolené napětí

$$\sigma_D = 0,1 \cdot R_e \quad [6] \quad (15.1)$$

$$\sigma_D = 0,1 \cdot 245$$

$$\sigma_D = 24,5 \text{ [MPa]}$$

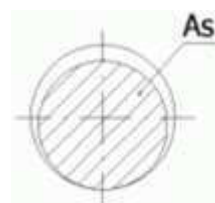
Průměry závitů

$$d_s = 18 \text{ [mm]}$$

$$d_1 = 16,917 \text{ [mm]}$$

$$d_2 = 17,350 \text{ [mm]}$$

$$d_3 = 16,773 \text{ [mm]}$$



Obr. 15.2 Plocha šroubu [16]

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad [6] \quad (15.2)$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{17,350 + 16,773}{2} \right)^2$$

$$A_s = 228,625 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_s = \frac{F}{\sigma_D} \rightarrow \sigma_D \geq \frac{F}{A_s} \quad [6] \quad (15.3)$$

$$\sigma_D \geq \frac{274,68}{228,625}$$

$$\sigma_D > 1,2 \text{ [MPa]}$$

$$24,5 > 1,2 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{podmínka vyhovuje}$$

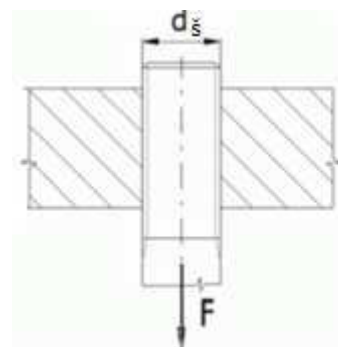
kde

$$F = \frac{m_{c.s} \cdot g}{n_s} \quad [6] \quad (15.4)$$

$$F = \frac{56 \cdot 9,81}{2}$$

$$F = 274,68 \text{ [N]}$$

F – osová síla šroubu [N]

 $m_{c.s}$ - hmotnost celé sestavy $m_{c.s} \sim 56 \text{ [kg]}$ g – tíhové zrychlení $[\text{m/s}^2]$ n_s – počet šroubů $n_s = 2 \text{ [-]}$ 

Obr. 15.3 Zatížení šroubu [16]

16 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh uzávěru zásobníku sypkých hmot s možností plynulé změny výpustného otvoru. Vstupním parametrem byl objem zásobníku $V = 100$ [l] a skladovaným materiálem byla mouka. Dalším požadavkem této diplomové práce bylo, aby tok materiálu vedl středem výpustného otvoru, celé zařízení aby bylo plně utěsněno z důvodu náchylnosti skladovaného materiálu, tedy mouky, na okolní prostředí a dodržení hygieničnosti provozu.

V úvodu diplomové práce je zpracována rešerše na téma zásobníky, možné poruchy skladování sypkých hmot a uzávěry s plynulou regulací výpustného otvoru. V další části jsou zpracované poznatky s měření mechanicko – fyzikálních vlastností mouky (úhel vnitřního tření, úhel vnějšího tření a sypná hmotnost) a dále popis celého měření. Poté bylo potřeba stanovit, o jaký druh zásobníku, na který bude uzávěr navrhován, se bude jednat a na základě zvolené varianty, známých vstupních parametrů a naměřených hodnot z laboratorního měření byly vypočteny jeho základní rozměry.

Následující část diplomové práce se zabývá výpočty tlaků v zásobníku působící do místa výpustného otvoru. Tyto výpočty byly provedeny dvěma metodami a to metodou dle Janssena a metodou dle Rankina. Tyto výpočty jsou nezbytně nutné k návrhu celého uzávěru výpustného otvoru zásobníku. Po takto vypočtených parametrech byla zvolena vyhovující varianta řešení. Tato varianta byla zvolena na principu fotoclony. Bylo zapotřebí stanovit veškeré rozměry součástí této zvolené varianty řešení, tudíž byl řešen tvar elementů uzávěru, jejich materiál a jejich dokonalé utěsnění tak, aby nedocházelo k přímému kontaktu se skladovaným materiálem. Utěsnění bylo vyřešeno materiálem, který mouku nepropustí a bude jí chránit před okolními vlivy. Materiálem byl zvolen neopren, který se svými vlastnostmi k dané problematice hodí a je taktéž použitelný v potravinářském průmyslu.

Dále byly provedeny výpočty ploch elementů zaujímající výpustný otvor v několika procentuálních stavech pootevření a síly, které na tyto plochy elementů působí. Poté byla vypočtena obvodová síla, která je potřebná k rozpohybování elementů a dále k výpočtu výkonu.

Na základě vypočtené obvodové síly byl navržen druh pohonu, který však musí splňovat podmínky daného prostředí a provozu. Zvolil jsem pohon ozubenými řemenicemi a řemenem. Tento typ pohonu je tichý a splňuje podmínky bezpečnosti a provozu. Následuje výpočet pohonu, tedy výpočet parametrů řemenic a řemene a dále také výpočet výkonu,

potřebného k návrhu poháněcí stanice. Zvolil jsem trojfázový asynchronní převodový elektromotor s převodovkou. Tento motor je spojen s hnacím hřídelem, který je zároveň, formou pastorku, jednou ze dvou ozubených řemenic.

Dále jsem teoreticky navrhl možnou variantu řešení, kdy při určitém pootočení elementu uzávěru výpustného otvoru (otevřeno či zavřeno), dojde k zastavení celého zařízení, aby nedošlo k havárii. Tuto problematiku bych řešil magnetickou metodou.

Poté byla řešena i napínací stanice ozubeného řemene. Ta je realizována stavěcím šroubem, který je umístěn na boku spodního krytu zařízení. Tento šroub působí na osu kladičky, která je v přímém kontaktu s řemenem. Šroub je samosvorný, tudíž nebude docházet k samovolnému uvolňování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Polák J., Slíva A.: Dopravní a manipulační zařízení III.
Skriptum VŠB – TUO, 2005, ISBN 80 – 248 – 0963 – X
- [2] Polák J., Pavliska J., Slíva A.: Dopravní a manipulační zařízení I.
Skriptum VŠB – TU Ostrava, 2001, ISBN 80 – 248 – 0043 - 8
- [3] Dražan F., Jeřábek K.: Manipulace s materiálem.
SNTL, Praha, 1979
- [4] Pešat Z.: Manipulace s materiálem v hutích, I. část.
Skriptum VŠB – TU Ostrava, 1992, ISBN 80-7078-107-6
- [5] Kříž R.: Strojnické tabulky II. – Pohony.
Montanex, Ostrava, 1997, ISBN 80 – 85780 – 51 – 8
- [6] Leinveber J., Vávra P.: Strojnické tabulky.
Albra, Úvaly, 2003, ISBN 80-86490-74-2
- [7] Svoboda P., Kovářík R., Brandejs J.: Základy konstruování.
Cerm , 2001, ISBN 80-7204-212-2
- [8] Pilař V.: Diplomová práce – Návrh zásobníku pro obilí.
Brno, 2010
- [9] www.jmosa.com
- [10] www.filtrzeos.cz
- [11] www.fotograf.euweb.cz
- [12] www.digimanie.cz

[13] www.wikipedia.cz

[14] www.converter.cz

[15] www.flender.com

[16] Hanáček D.

SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

➤ PŘÍLOHY

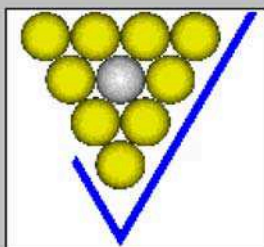
Výsledky granulometrické analýzy	Příloha A
Výsledky analýzy vnitřního tření	Příloha B
Výsledky analýzy vnějšího tření	Příloha C

➤ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Sestava uzávěru zásobníku	HAN – A1 – 11
Pastorek	HAN – A3 – 10
Velká řemenice	HAN – A3 – 09
Vodící kroužek	HAN – A3 – 08
Element	HAN – A3 – 07
Kryt elementů	HAN – A3 – 06
Vnitřní těsnění uzávěru	HAN – A3 – 05
Těsnění mezi kryty	HAN – A4 – 04
Čep elementu	HAN – A4 – 03
Kladička	HAN – A4 – 02
Osa kladičky	HAN – A4 – 01

Příloha A

Výsledky granulometrické analýzy



LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT

prof. Ing. Jiří ZEGZULKA, CSc.

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Institut dopravy, Fakulta strojní
17.listopadu 15, Ostrava-Poruba, 708 33

Tel: +420 59732 4379 Fax: +420 59699 4330 E-mail: jiri.zegzulka@vsb.cz

Výsledky Analýzy

Označení vzorku:

Hrubá mouka - p. Hanáček - Average

Zdroj vzorku a typ:

Factory = DP

Sample bulk lot ref:

3.12. 2010

Název SOP:

Default_DP

Měřil:

Brázda Robert

Zdroj výsledku :

Averaged

Měřeno:

3. prosince 2010 10:49:53

Analyzováno:

3. prosince 2010 10:49:55

Název částice:

Default

Refrakční index částice:

1.520

Název dispersantu:

Ethanol

Název příslušenství:

Hydro 2000MU (A)

Absorpce:

0.1

Refrakční index dispersantu:

1.360

Model analýzy:

General purpose

Rozsah měření:

0.020 do 2000.000 um

Váhový rozdíl:

1.729 %

Citlivost:

Enhanced

Zastínění:

13.69 %

Výsledek emulace:

Off

Koncentrace:

0.3181 %Vol

Span (šířka distribuce) :

1.140

Uniformity (jednotnost):

0.37

Jednotky výsledku:

Volume

Specific Surface Area:

0.0383 m./g

Surface Weighted Mean D[3,2]:

156.622 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:

389.838 um

Kurtosis:

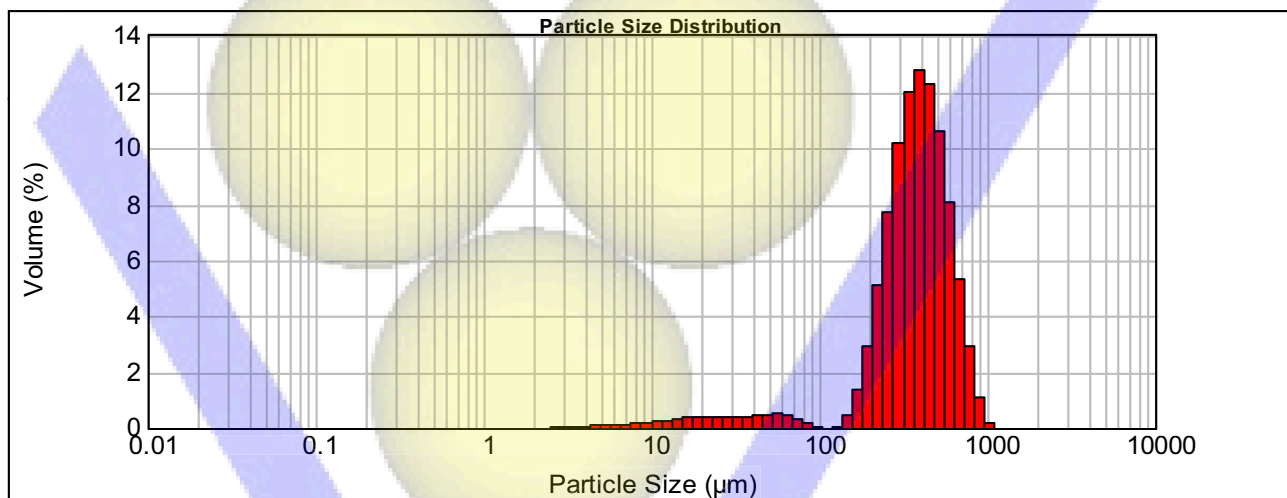
0,27

d(0.1): 195.197 um

d(0.5): 376.329 um

d(0.9): 624.291 um

d50: 395,588 um

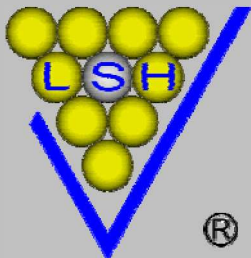


Hrubá mouka - p. Hanáček - Average, 3. prosince 2010 10:49:53

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.28	120.226	0.06	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.32	138.038	0.46	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.35	158.489	1.37	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.37	181.970	2.96	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.38	208.930	5.13	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	0.37	239.883	7.69	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.01	26.303	0.37	275.423	10.16	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.05	30.200	0.38	316.228	12.03	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.06	34.674	0.41	363.078	12.82	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.07	39.811	0.45	416.869	12.31	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.07	45.709	0.49	478.630	10.60	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.08	52.481	0.50	549.541	8.09	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.10	60.256	0.46	630.957	5.34	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.12	69.183	0.35	724.436	2.93	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.15	79.433	0.18	831.764	1.07	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.19	91.201	0.03	954.993	0.14	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.23	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Příloha B

Výsledky analýzy vnitřního tření



LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Laboratoř sypkých hmot, VŠB - Technická univerzita Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba

Tel. +42059 732 4379 Fax: +42059 699 4330 E-mail: jiri.zegzulka@vsb.cz

Datum vyhodnocení: 3. 12. 2010

Měřil: Bc. Dalibor Hanáček

Schválil: Ing. Robert Brázda, Ph.D.

Vzorek: Hrubá mouka

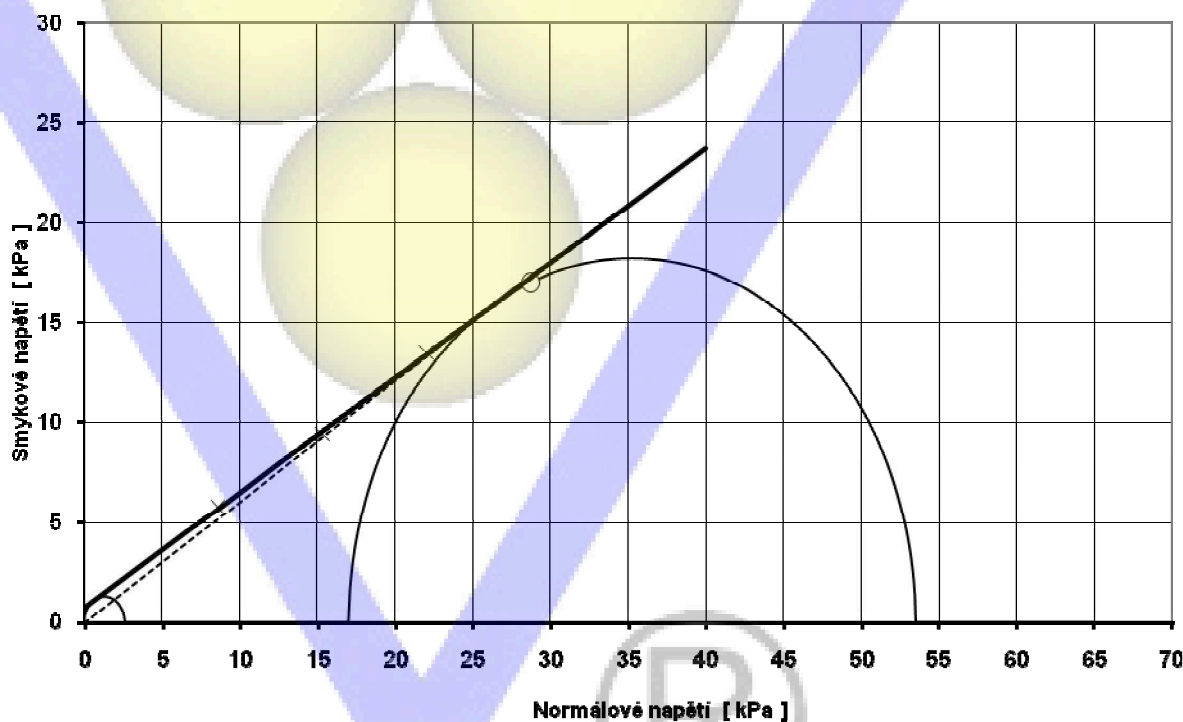
Společnost: Diplomová práce

Základní mechanicko – fyzikální vlastnosti vzorku

Počáteční smykové napětí τ_0	757,6	[Pa]	Linearizovaný úhel vnitřního tření ϕ_{lin}	29,89	[deg]
Směrnice linearizované tokové čáry	0,575	[-]	Tlaková pevnost materiálu σ_c	2,62	[kPa]
Hlavní napětí σ_1	53,5	[kPa]	Efektivní úhel vnitřního tření ϕ_e	31,13	[deg]
Hlavní napětí σ_2	17,0	[kPa]	Tokový činitel ffc	20,43	[-]

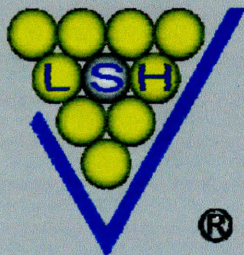
Mohrovy kružnice napjatosti

Konsolidační zatížení: 16 závaží



Příloha C

Výsledky analýzy vnějšího tření



LABORATOŘ SYPKÝCH HMOT

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Laboratoř sypkých hmot, VŠB – Technická univerzita Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba

Tel. +42059 732 4379 Fax: +42059 699 4330 E-mail: jiri.zegzulka@vsb.cz

Datum vyhodnocení: 3. 12. 2010

Měřil: Bc. Dalibor Hanáček

Schválil: Ing. Robert Brázda, Ph.D.

Vzorek: Hrubá mouka

Společnost: Diplomová práce

Základní mechanicko – fyzikální vlastnosti vzorku

